



Paulo Miguel Bulha Almeida Carvalho de Castro

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Melhoria Contínua Através da Análise de Gaps. Caso de Estudo numa Empresa do Ramo Automóvel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Isabel L. Nunes, FCT-UNL

Co-orientadora: Professora Doutora Ana Sofia Matos, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Professora Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado

Arguente: Professor Doutor Rogério Salema Araújo Puga Leal

Vogal: Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2016

Copyright” © 2016 em nome de Paulo Miguel Bulha Almeida Carvalho de Castro.

Melhoria Contínua Através da Análise de Gaps.

Caso de Estudo numa Empresa do Ramo Automóvel

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”

Agradecimentos

Quero começar por agradecer às Professoras Isabel L. Nunes e Ana Sofia Matos que me orientaram ao longo do último semestre e demonstraram sempre elevada disponibilidade, dedicação e paciência para orientar o meu trabalho.

Esta dissertação não teria sido possível sem a oportunidade que a empresa Schnellecke me concedeu de estagiar durante seis meses, permitindo-me beber todo o espírito, filosofias e técnicas que são postas em prática no dia-a-dia do mundo da indústria automóvel e por este motivo deixo o mais sincero agradecimento ao Dir. Regional da Qualidade, Paulo Martins, pela oportunidade e voto de confiança dado.

Agradeço também à equipa que esteve presente no desenvolvimento do FMEA, onde vários elementos tiveram que dedicar tempo ao projeto, como também à minha formação para conseguir adaptar-me e absorver os conceitos da empresa. Em particular destaco a equipa da Qualidade e o Coordenador Alexandre Morais por ter ajudado de forma ativa em todos aspetos profissionais necessários.

Por fim quero realizar um agradecimento especial a todas as pessoas da minha família, amigos e namorada, que me apoiaram, incentivaram, ensinaram e até toleraram momentos menos bons, mas acima de tudo permitiram partilhar os bons momentos dos últimos cinco anos que culminam nestas páginas, já com algum sentimento de saudade.

Resumo

A dissertação desenvolvida na empresa Schnellecke Portugal, no departamento de Engenharia do Produto e Qualidade, teve como objetivo realizar um processo de melhoria contínua apoiado na análise de *gaps*, a três peças pertencentes à carroçaria de modelos Volkswagen.

O trabalho realizado consistiu na identificação e análise de *gaps* e modos de falha. A identificação, foi feita através duma correlação entre os requisitos da empresa, os requisitos do cliente Volkswagen e o que a empresa realmente executa e processa. Posteriormente, elaborou-se uma análise de risco através de uma análise modal de falhas e efeitos.

A análise de *gaps* abordou os processos de *tear down*, metalografia, teste de torque, teste de tensão normal e cisalhamento, aplicação de cola, conformidade dos pontos de soldadura, conformidade do processo de soldadura, planeamento anual de testes da qualidade e também, a relação empresa cliente do ponto de vista contratual.

O estudo foi realizado com a participação de uma equipa multidisciplinar, que contribuiu significativamente com a sua experiencia e conhecimento através de *brainstormings*. Este método permitiu identificar modos de falha / *gaps*, desenvolver diagramas em árvore relativos para obtenção das causas base, bem como, elaboração de planos de ação.

Para complementar o trabalho desenvolvido, e tendo em conta algumas desvantagens que a priorização do risco através do número prioritário de risco apresenta, desenvolveu-se uma análise de *grey*. Esta nova abordagem permitiu identificar uma ordenação diferente de prioridade para os modos de falhas, uma vez que tem em conta diferentes ponderações para os valores de gravidade, ocorrência e deteção. A análise permitiu concluir que um dos maiores *gaps* presentes na empresa era o desconhecimento do conteúdo das normas Volkswagen (Vw) por parte dos colaboradores, que conseqüentemente gera *gaps*/modos de falhas nos processos e produtos produzidos.

Palavras-Chave: Análise de *grey*; AMFE – Análise Modal de Falhas e Efeitos, NPR – Número, Prioritário de Risco, Soldadura, Volkswagen.

Abstract

The thesis developed in the company Schnellecke Portugal, in the Product Engineering and Quality department, aimed to develop a continuous improvement process applied to a gap analysis to three parts belonging to the body of Volkswagen models.

The Work Performed consisted in the identification and analysis of gaps / failure Modes. The identification was through a correlation between the business requirements, requirements of the customer Volkswagen and what the company actually performs and processes. Later it was developed a risk analysis through a failure mode and effect analysis.

The gap analysis worked on in the processes of metallography, torque test, cross tension and shear tension test, spot and projections welding quality, welding process, annual planning quality tests and also relationship between the company and the client.

The study was conducted with the participation of a multidisciplinary team, which contributed significantly with their experience and knowledge through brainstorming. This method allowed to identify failure modes and gaps, develop tree diagrams to obtain the base causes, as well, as preparation of action plans.

In addition to the work, and considering some disadvantages that the prioritization through the risk priority number featured, was developed a grey analysis. This technic approach allowed to identify a different order of priority for the failure modes, since takes into account different weights for gravity values, occurrence and detection. The analysis concluded that one of the biggest gaps in the firm was, the employees been unaware of the content of standards Volkswagen (Vw), which consequently generates gaps / failure modes in processes and products produced.

Keywords: Grey Analysis; FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, RPN – Risk Priority Number, Volkswagen, Welding

Índice

Agradecimentos	V
Resumo.....	vii
Abstract	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Siglas / Abreviaturas.....	xvii
Capítulo 1 - Introdução	- 1 -
1.1 Enquadramento.....	- 1 -
1.2 Objetivos	- 2 -
1.3 Metodologia	- 2 -
1.4 Estrutura da Dissertação	- 4 -
Capítulo 2 - Enquadramento Teórico	- 5 -
2.1 Gestão da Qualidade	- 5 -
2.2 Melhoria Contínua.....	- 5 -
2.3 Análise de Gaps	- 6 -
2.4 Failure Mode and Effect Analysis	- 7 -
2.4.1 Índices do FMEA.....	- 8 -
2.4.2 Equipa de Trabalho	- 11 -
2.5 Ferramentas da Qualidade	- 11 -
2.5.1 Fluxogramas	- 12 -
2.5.2 Diagrama de Pareto.....	- 12 -
2.5.3 Brainstorming.....	- 13 -
2.5.4 Diagrama em Árvore	- 13 -
Capítulo 3 - Metodologia e Caso de Estudo	- 15 -
3.1 Metodologia	- 15 -
3.2 Introdução ao Caso de Estudo	- 17 -
3.3 Parâmetros de Referência de Soldadura e Testes da qualidade.....	- 17 -
3.3.1 Soldadura de Pontos por Resistência.....	- 18 -
3.3.2 Soldadura de Protuberâncias por Resistência.....	- 18 -
3.3.3 Inspeção Visual.....	- 19 -
3.3.4 Teste Não Destrutivo de Ultra-sons	- 19 -
3.3.5 Torque	- 19 -
3.3.6 Teste Destrutivo de Metalografia	- 20 -
3.3.7 Teste Destrutivo de Tear down	- 20 -
3.3.8 Teste Destrutivo de Tensão Normal e Cisalhamento.....	- 21 -

3.4 Parâmetros de Referência da Análise de Gaps	22 -
3.4.1 Identificação dos Parâmetros de Referência dos Pontos de Soldadura	22 -
3.4.2 Identificação dos Parâmetros de Referência da Soldadura de Protuberâncias.	33 -
3.4.3 Identificação dos Parâmetros de Referência da Ligação de Chapas	35 -
por Cola	35 -
3.4.4 Planeamento de Testes da Qualidade.....	36 -
3.4.5 Conformidade Contratual de Testes da Qualidade a Aplicar	37 -
3.5 Implementação de Análise Modal de Falhas e Efeitos.....	37 -
3.5.1 Fluxos do Processo	38 -
Capítulo 4 - Apresentação e Discussão de Resultados.....	41 -
4.1 Identificação de Gaps	41 -
4.1.1 Produto - Dichtkanal	41 -
4.1.2 Diâmetros de Pontos de Soldadura.....	42 -
4.1.3 Parâmetros Externos da Peça e Processo de Soldadura por Pontos	44 -
4.1.4 Ligação por Cola	45 -
4.1.5 Planeamento de Testes da Qualidade.....	46 -
4.1.6 Relação Empresa Cliente	47 -
4.2 Análise Modal de Falhas e Efeitos	48 -
4.2.1 Identificação das Causas Potenciais	48 -
4.2.2 Avaliação do Risco	61 -
4.2.2 Proposta de Classificação do Risco pelo Teoria de Grey	69 -
4.3 Planos de Ação	72 -
Capítulo 5 – Conclusões e Sugestões	77 -
5.1 Conclusões.....	77 -
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	78 -
Bibliografia	79 -
Anexos	81 -
AI. Diagram em Árvore	81 -
All. Desenhos Técnicos.....	98 -

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Esquema da metodologia.....	3 -
Figura 2.1 - Aplicações de FMEA.....	10 -
Figura 3.1 – Fluxograma da Metodologia Geral do Trabalho.....	16 -
Figura 3.2 - Representação de Torque.....	20 -
Figura 3.3 - Representação de Forças de Tensão.....	21 -
Figura 3.4 - Representação de Força de Tensão.....	21 -
Figura 3.5 - Ponto de Soldadura na interceção de duas chapas.....	23 -
Figura 3.6 – Fases da metalografia. a) primeira fase, Corte; b) segunda fase, Prensagem; c) terceira fase, Polimento d) quarta fase, Criação de Contraste; e) Avaliação microscópica.....	24 -
Figura 3.7 - Ponto de Soldadura após Tear Down, Pull out Failure.....	25 -
Figura 3.8 - Ponto de Soldadura após Tear Down, Partial Button Pull Failure.....	25 -
Figura 3.9 - Processo de Tear Down: a) Processo de arrancamento, b) “botão” do tipo Pullout Failure, c) Martelo Pneumático.....	25 -
Figura 3.10 - Representação da Distância Offset e Espaçamento Overlap.....	26 -
Figura 3.11 - Exemplos de elétrodos de soldadura a evitar.....	26 -
Figura 3.12 - Representação da Distância Cc.....	27 -
Figura 3.13 - Representação do Impacte de diferentes sequências de pontos de soldadura.....	27 -
Figura 3.14 - Eixo de soldadura não perpendicular com chapa.....	28 -
Figura 3.15 - Eixo de soldadura perpendicular com chapa, adaptado de Vw 01105-1.....	28 -
Figura 3.16 - Representação de forças de tensão em ensaios destrutivos.....	29 -
Figura 3.17 - Representação da força de torção em ensaios destrutivos.....	29 -
Figura 3.18 - Representação das distâncias Vn e Vn'.....	29 -
Figura 3.19 - Indentação do ponto de soldadura.....	30 -
Figura 3.20 - Ponto de soldadura com material fundido.....	31 -
Figura 3.21 - Representação de dn min, V e VE, adaptado da norma Ve 011055-1.....	31 -
Figura 3.22 - Representação de porosidade no ponto de soldadura	32 -
Figura 3.23 - Representação de fissuras no ponto de soldadura.....	32 -
Figura 3.24 - Representação de inclusões no ponto de soldadura.....	32 -
Figura 3.25 - Representação de excesso de material de soldadura.....	32 -
Figura 3.26 - Representação de assimetria no ponto de soldadura.....	33 -
Figura 3.27 - Representação de falta de fusão no ponto de soldadura.....	33 -
Figura 3.28 - Fluxograma simplificado do processo da qualidade na Shnellecke.....	40 -
Figura 4.1 - Peça Dichtkanal.....	41 -
Figura 4.2 - Vista explosiva da peça dischtkanal.....	41 -
Figura 4.3 - Exemplo de teste metalográfico ok e nok.....	45 -
Figura 4.4 - Peça dichtkanal com aplicação de cola.....	46 -
Figura 4.5 - Diagrama de árvore, relatório de metalografia inconclusivo.....	49 -
Figura 4.6 - Diagrama de árvore, aplicação de teste de torque a studs e bolts.....	49 -
Figura 4.7 - Diagrama de árvore, força de teste de torque a porcas, inferior ao valor mínimo aceitável.....	50 -
Figura 4.8 -Diagrama de Pareto dos modos de falha identificados.....	68 -
Figura AI. Diagrama em Árvore 1 - Valor de "dn" não é estimado através de "dw" obtido em Tear Down.....	81 -
Figura AI. Diagrama em Árvore 2 - Ausência de avaliação de teste de Tear Down aos Studs.....	81 -

Figura Al. Diagrama em Árvore 3 - Valor de referência para diâmetro de protuberâncias errado.....	-82-
Figura Al. Diagrama em Árvore 4 - Marcação incorreta do "dn" e "p"	-82-
Figura Al. Diagrama em Árvore 5 - Soldadura por Protuberância não é avaliada no processo de metalografia.....	-83-
Figura Al. Diagrama em Árvore 6 - Agente Cáustico inadequado.....	-83-
Figura Al. Diagrama em Árvore 7 - Referência de qualidade de porosidade errada.....	-84-
Figura Al. Diagrama em Árvore 8 - Qualidade da ligação de cola não é avaliada através da metalografia.....	-84-
Figura Al. Diagrama em Árvore 9 - Não realizado teste de tração e cisalhamento às juntas de soldadura.....	-85-
Figura Al. Diagrama em Árvore 10 - Não é realizado teste de tração e cisalhamento aos Bolts, Studs e Porcas.....	-85-
Figura Al. Diagrama em Árvore 11 - Não é realizado teste de tração e cisalhamento às juntas ligadas por cola.....	-86-
Figura Al. Diagrama em Árvore 12 - "dw" menor que o valor mínimo de referência.....	- 86 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 13 - "dw" maior que o valor máximo de referência.....	- 87 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 14 - Pontos de soldadura com pouca penetração na chapa.....	- 87 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 15 - "dn" inferior ao valor mínimo estipulado.....	- 88 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 16 - "dn" superior ao valor máximo estipulado.....	- 88 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 17 - Sequenciação errada dos pontos de soldadura.....	- 89 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 18 - Distância à extremidade fora de conformidade.....	- 89 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 19 - Localização errada dos pontos soldadura.....	- 90 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 20 - Passagem de corrente durante o processo de soldadura de pontos.....	- 90 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 21 - Aplicação de cola fora do local especificado.....	- 91 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 22 - Falta de precisão na quantidade de cola aplicada.....	- 91 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 23 - Dimensão de amostra não representativa.....	- 92 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 24 - Falta de exatidão no contrato sobre os testes de qualidade a aplicar.....	- 92 -
Figura Al. Diagrama em Árvore 25 - Incumprimento do contrato estabelecido.....	- 93 -
Figura All. 1 – Desenho Técnico Tunnel.....	- 98 -
Figura All. 2 - Desenho Técnico Dichtkanal.....	- 99 -
Figura All. 3 - Desenho Técnico Radhause.....	- 100 -

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Índice de Gravidade.....	-8-
Tabela 2.2 - Índice de Ocorrência.....	-8-
Tabela 2.3 - Índice de Detecção.....	-8-
Tabela 2.4 - Classes ABC causas efeitos	- 13 -
Tabela 3.1 - Tabela de Interpolações para cálculo de torque e força de tração mínima	- 35 -
Tabela 4.1 - Representação das características da peça dichtkanal	- 42 -
Tabela 4.2 - Descrição da cola na peça Dichtkanal	- 42 -
Tabela 4.3 - Identificação de gaps no processo tear down da peça dichtkanal.....	- 43 -
Tabela 4.4 - Identificação de gaps no processo metalografia da peça dichtkanal.....	- 43 -
Tabela 4.5 - Identificação de gaps relativos a aspetos internos	- 45 -
Tabela 4.6 - Identificação de gaps relativos ao processo de soldadura de pontos.....	- 45 -
Tabela 4.7 - Identificação de gaps na aplicação de cola da peça dichtkanal	- 46 -
Tabela 4.8 - Identificação de gaps na aplicação de cola da peça dichtkanal	- 46 -
Tabela 4.9 - Planeamento de testes da qualidade anual	- 47 -
Tabela 4.10 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de tear down.....	- 49 -
Tabela 4.11 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de metalografia.....	- 50 -
Tabela 4.12 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de tração e cisalhamento	- 52 -
Tabela 4.13 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de torque	- 53 -
Tabela 4.14 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de soldadura de pontos	- 54 -
Tabela 4.15 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de soldadura	- 57 -
Tabela 4.16 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de aplicação de cola.....	- 59 -
Tabela 4.17 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de planeamento da qualidade	- 60 -
Tabela 4.18 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de cumprimento contratual	- 60 -
Tabela 4.19 - Avaliação de risco NPR	- 61 -
Tabela 4.20 - Priorização NPR	- 66 -
Tabela 4.21 - Tabela de Frequência de Modos de Falhas	- 69 -
Tabela 4.22 - Índices de gravidade, ocorrência e deteção dos modos de falha	- 70 -
Tabela 4.23 - Matriz ideal, Teoria de relação de grey	- 70 -
Tabela 4.24 - Matriz $\Delta_{i,j}$	- 70 -
Tabela 4.25 - Matriz de coeficiente de relação.....	- 71 -
Tabela 4.26 - Comparação entre priorização NPR e teoria de relação de grey	- 71 -
Tabela 4.27 - Planos de ação.....	- 72 -

Siglas / Abreviaturas

A – Área de superfície de aplicação de cola

a – Largura da zona de aplicação de cola

C – Grau de relação pela teoria de *grey*

Cc – Distância mínima entre elétrodos e chapa para evitar passagens de corrente elétrica

d – Espessura de cola aplicada após processo de cura

D – Pontuação de detecção do modo de falha

d1 – Diâmetro da protuberância do tipo redondo

dn – Diâmetro do *nugget* de soldadura

dn a,b – Diâmetro do *nugget* de soldadura quando ocorre *pullout failure* no arrancamento da chapa

dn c – Diâmetro do *nugget* de soldadura, quando ocorre *partial button pull failure*

dw – Diâmetro do ponto de soldadura, após arrancamento da chapa

dw a,b - Diâmetro do ponto de soldadura, após arrancamento da chapa quando ocorre *pullout failure*

dw c – Diâmetro do ponto de soldadura, após arrancamento da chapa quando ocorre *partial button pull failure*

Fct – Força de tração aplicado a juntas de soldadura para ensaio destrutivo

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

g – Distância *offset*

G – Pontuação de gravidade do modo de falha

HAZ – *Heated Affected Zone*

ISO – *International Organization for Standardization*

k – Distância *overlap*

l – Comprimento da zona de aplicação de cola

Ln – Comprimento do *nugget* de soldadura por protuberância do tipo alongado

Lp – Comprimento do ponto de soldadura por protuberância do tipo alongado

MF – Modo de Falha

nok – Peça não conforme

NPR – Número Prioritário de Risco

O – Pontuação de ocorrência do modo de falha

ok – Peça conforme

p – Dimensão da penetração do *nugget* de soldadura na chapa

PV – *Test Specification*

Rm – Resistência da chapa à força de tração

SAGA – *Self Assessment Gap Analysis*

SERVQUAL – *Service Quality Model*

T – Força de torque aplicado a juntas de soldadura para ensaio destrutivo

t1 – Espessura da chapa mais fina

t2 – Espessura da chapa mais grossa

Tv – Valor médio entre espessuras, $0.8 \cdot t1 + 0.2 \cdot t2$

VE – Distância do perímetro do ponto de soldadura à extremidade da peça

Vn – Distância do perímetro do *nugget* de soldadura à extremidade da peça

Vn' – Distância do perímetro do *nugget* de soldadura à curva da peça

Vw – Volkswagen Standard

Wn - Largura do *nugget* de soldadura por protuberâncias do tipo alongado

Wp – Largura do ponto de soldadura por protuberâncias do tipo alongado

ε – Coeficiente de diferenciação do teoria de relação de *grey*

λ_i – Coeficiente de relação do teoria de relação de *grey*

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

Devido à elevada competitividade no ramo da indústria de produção automóvel, ao longo dos últimos anos procurou-se diminuir o custo de produção tanto quanto possível, por forma a viabilizar projetos com uma maior margem lucrativa, mantendo um elevado nível de eficiência dos processos.

A necessidade constante de diminuir o tempo de mercado dos produtos impõe às indústrias de produção a necessidade de atualizar e recriar os seus projetos, mantendo todas as conformidades inerentes à produção. Para que tal aconteça, entre outros fatores, é necessária uma aplicação rigorosa de normas da qualidade fornecidas pelo cliente. As normas complementam os desenhos técnicos, dando informações relativas a ensaios destrutivos, não destrutivos, funcionais, mecânicos, tridimensionais e estudo de materiais, permitindo assim uma conformidade total, em relação aos objetivos previamente estabelecidos.

A produção de um novo produto gera a utilização de novas metodologias e processos que aumentam a probabilidade de ocorrência de erros, de redução de desempenho, bem como de ineficiência, o que consequentemente gerará custos para a empresa. Tentar prevenir o desperdício, garantir a eficácia e conformidade da produção atual e prevenir erros no lançamento do novo modelo Volkswagen serão os problemas, para os quais o presente estudo irá contribuir.

Para o desenvolvimento da Análise de *Gaps*, será realizado um estudo de todas as normas propostas pelo cliente relativas aos produtos acabados, processos de produção (maioritariamente de soldadura), ferramentas de qualidade, análise funcional, ensaios destrutivos e não destrutivos, entre outras especificações que assegurem a conformidade da produção. Posteriormente, será realizada uma Análise Modal de Falhas e Efeitos aos *gaps* identificados e desenvolvidos os respetivos planos de ação.

O estudo irá incidir nos componentes produzidos pela empresa, com o intuito de prevenir a ocorrência de erros na implementação de um novo produto, ao nível da produção e dos processos, face aos requisitos de qualidade do cliente, estipulado através das normas Volkswagen, também designadas como normas Vw.

A finalidade da análise elaborada, passa por atingir uma melhoria contínua na engenharia do produto, evitando todos os custos relativos a uma produção defeituosa, tempo perdido em produto acabado rejeitado pelo cliente, entre outras atividades de valor não acrescentado.

1.2 Objetivos

A análise de *gaps* desenvolvida teve como principal meta conseguir melhorar a eficiência da produção da empresa onde o caso de estudo foi realizado, através de um processo de melhoria contínua.

A análise compreende três principais objetivos:

1. Identificar os parâmetros de referência.

Para o desenvolvimento da análise de *gaps*, definiu-se o objetivo inicial de identificar os parâmetros de referência e o nível de conformidade exigido, por forma a conseguir conhecer o nível de qualidade que a empresa tem de atingir.

2. Avaliar o estado da produção.

Neste objetivo, procurou-se avaliar o estado atual dos produtos e processos, tendo em conta o estado ideal de referência. Esta avaliação permite identificar as não conformidades e consequentemente os modos de falha e *gaps* que estão presentes.

3. Avaliação dos modos de falhas e *gaps*.

O objetivo deste ponto reside no estudo dos modos de falha e *gaps* identificados, podendo deste modo identificar as causas potenciais e respetivos efeitos. Esta avaliação permite a priorização dos modos de falhas e *gaps* identificados, bem como, a elaboração de planos de ação que permitam retificar as não conformidades e prevenir futuras situações análogas geradoras de modos de falha e *gaps*.

1.3 Metodologia

Na figura 1.1, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento da análise de *gaps*.

Numa fase inicial realizou-se uma análise das normas da qualidade Volkswagen (Vw) relativas aos processos, matérias-primas e produtos acabados existentes na empresa. Posteriormente cruzou-se a informação recolhida pelas normas Vw com o modo de operar da empresa, bem como, com os seus objetivos, completando assim a fase de recolha de informação e identificação de *gaps*.

Analisou-se a informação obtida, desenvolvendo uma análise modal de falhas e efeitos que foi complementada com a teoria de relação de *grey*, conseguindo assim, priorizar os modos de falhas / *gaps*, bem como, estruturar as causas base e respetivos planos de ação. Todo o trabalho desenvolvido teve uma participação ativa de uma equipa multidisciplinar na aplicação

de *brainstormings* que ajudaram na elaboração da análise modal de falhas e efeitos, também designada de AMFE ou *FMEA* (*Failure Mode and Effect Analysis*).

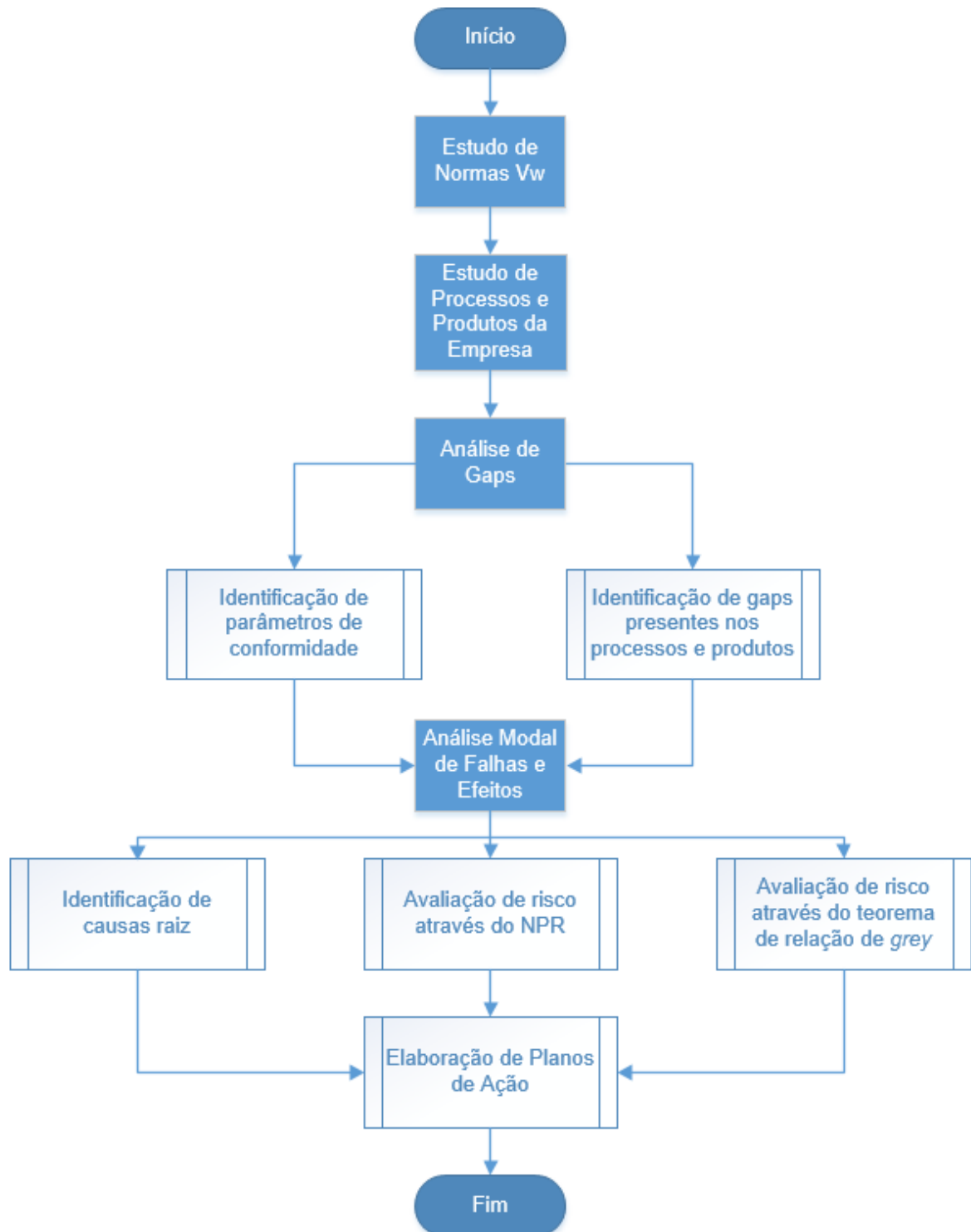


Figura 1.1 - Esquema da Metodologia

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada sequencialmente em cinco capítulos.

No presente capítulo é feita uma curta abordagem introdutória, onde é referido o enquadramento, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 corresponde à revisão de literatura, que servirá de suporte teórico aos temas abordados na dissertação. Este capítulo irá debruçar-se sobre as ferramentas da qualidade aplicadas, relativamente aos testes da qualidade e técnicas de soldadura abordadas.

O capítulo 3 irá aludir ao caso de estudo. Neste capítulo, será feita referência à metodologia geral do trabalho, ao desenvolvimento da análise de *gaps*, focando os parâmetros de qualidade que são necessários cumprir.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados e sua discussão, através da identificação dos *gaps* obtidos, a avaliação do risco através do Número Prioritário de Risco, e da teoria de *grey*, bem como, o desenvolvimento de causas raiz para os *gaps* identificados. Apresenta-se também os possíveis erros associados aos resultados obtidos.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões, possíveis melhorias e sugestões de projetos futuros que envolvam o departamento de Engenharia do Produto e da Qualidade da empresa.

Capítulo 2 - Enquadramento Teórico

2.1 Gestão da Qualidade

A Gestão da Qualidade é a área da gestão responsável pela garantia do nível ideal de conformidade dos processos, produtos e serviços, tendo sempre em conta os recursos necessários para o atingir (Rose, 2005). Uma das formas de garantir uma boa gestão da qualidade, passa por implementar processos de melhoria contínua. Estes processos permitem uma adaptação constante às novas necessidades, bem como, a revisão dos processos implementados. Para que a melhoria contínua seja aplicada é necessário recorrer a algumas ferramentas da qualidade que serão posteriormente abordadas neste capítulo.

2.2 Melhoria Contínua

Um dos grandes objetivos da melhoria contínua, passa por desenvolver esforços no sentido de conseguir a busca pelo nível de qualidade ideal, esta meta passa por fazer o trabalho certo de forma correta (Guimarães, *et al.*, 2013).

Segundo Lepmets (2012), a atividade de melhoria de um processo passa por duas fases distintas: A avaliação e a melhoria. Segundo o autor, a fase de avaliação do processo, consiste na identificação das inconformidades através de uma avaliação do estado atual do processo. A avaliação consiste em verificar se o processo apresenta capacidade de cumprir as suas metas dentro de um determinado grau de eficiência. Posteriormente, ocorre a fase da melhoria, onde serão elaborados e implementados os planos de ação (Lepmets, 2012).

Para que o processo de melhoria contínua passe por estas fases, existe a necessidade de recorrer a algumas ferramentas da qualidade que avaliem e melhorem os processos. A análise modal de falhas e efeitos, permite a identificação de modos de falhas e sua análise. Esta ferramenta, permite compreender as causas raiz das falhas, avaliar a sua gravidade e elaborar planos de ação. Deste modo consegue-se completar as duas fases descritas por Lepmets (2012).

Outras ferramentas da qualidade podem ser utilizadas para além da análise modal de falhas e efeitos. A análise de gaps, desenvolve uma melhoria contínua através da combinação de mais do que uma ferramenta da qualidade, permitindo assim, que estas complementem-se. Nos subcapítulos seguintes, serão explicitadas outras ferramentas da qualidade que podem ser utilizadas de forma independente para obter a melhoria contínua ou complementadas entre si.

2.3 Análise de Gaps

A metodologia da análise de *gaps*, segundo Foster (2001) parte de quatro questões:

- Onde estamos?
- Onde queremos estar?
- O que temos que fazer para chegar onde queremos estar?
- Como se faz?

A análise de *gaps*, segundo Miyake e Fonseca (2006) está também assente sobre a melhoria contínua através do ciclo PDCA (*Plan – Do – Control – Act*), como descrito abaixo:

1. Planear
 - I. Identificação do *gap*;
 - II. Investigação da forma de solucionar o *gap*;
 - III. Seleção de ações;
2. Executar
 - I. Implementar ação;
3. Controlar
 - I. Estudos dos resultados das medidas executadas;
4. Atuar
 - I. Padronizar o plano de melhoria contínua.

Existem diferentes técnicas para a realização de uma análise de *gaps* nomeadamente:

- SERVQUAL (*Service Quality Model*) – Procura encontrar 5 diferentes tipos de *gaps*, relacionado com a qualidade em serviços (Parasuraman *et al*, 1988).
- SAGA (*Self Assessment Gap Analysis*) – Procura elevar os níveis de qualidade através de valores de referência, fazendo uma auto-avaliação ao seu desempenho (Denis *et al*, 2007)
- FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

O FMEA foi o método utilizado ao longo da dissertação. A escolha deste método deve-se à capacidade de identificar os *gaps* existentes, bem como realizar a sua avaliação, permitindo identificar as causas potenciais, os seus efeitos e priorizar os modos de falha. Todo o trabalho de avaliação dos modos de falha ou *gaps*, permite elaborar planos de ação dirigidos às causas primárias, dos modos de falha com maior impacte negativo no processo produtivo.

2.4 Failure Mode and Effect Analysis

O *FMEA* de sistemas é usado para analisar sistemas e subsistemas em fase de desenvolvimento, incluindo a interação entre sistemas. O objetivo visa encontrar deficiências presentes no sistema. Para tal é produzida uma lista de modos de falha hierarquizados por NPR, lista de funções de sistema que permitam detetar potenciais modos falha e por último, lista de planos de ação para eliminar modos de falha, problemas de segurança e diminuir a ocorrência de falhas. Esta ferramenta permite melhorar o sistema diminuindo alguns aspetos como redundância, definir os procedimentos de diagnóstico, melhorar a usabilidade e identificar possíveis futuros erros entre sistemas (Stamatis, 2003).

O *FMEA* de projeto, procura analisar o produto numa fase anterior à produção, focando-se em deficiências relacionadas com o projeto ou planeamento do produto. Através desta ferramenta é possível obter a hierarquização dos modos de falha através de NPR, potenciais falhas de interação entre sistemas, ações que reduzam a ocorrência de falhas, parâmetros de testes e elaboração de planos de ação. Esta ferramenta permite estabelecer a prioridade de melhorias relativas ao projeto do produto, identificar os aspetos críticos do produto, eliminar problemas de segurança, identificar falhas do produto ainda durante a fase de planeamento (Stamatis, 2003).

O *FMEA* de processo é utilizado com o intuito de analisar a produção e montagem de processos. Esta ferramenta permite obter uma lista de modos de falha ordenados por NPR, lista das características significativas do processo e também a elaboração de planos de ação com vista à resolução de problemas identificados. O *FMEA* de processo, permite identificar os processos deficientes e oferece planos de ação corretivos. Permite também identificar as características críticas, estabelecer a prioridade de atuação, assistir na análise da produção e montagem, entre outros benefícios (Stamatis, 2003).

O *FMEA* de serviço é utilizado com o intuito de avaliar o serviço antes de chegar ao cliente. O principal foco desta ferramenta são as tarefas, erros e enganos que possam ser causados por deficiências do processo. Esta ferramenta da qualidade, permite obter de forma análoga aos restantes tipos de *FMEA*, uma lista de modos de falha hierarquizada por NPR, permitindo também, obter os processos críticos, bem como, o desenvolvimento de planos de ação. Alguns dos benefícios da aplicação do *FMEA* de serviço são a assistência na análise do fluxo de trabalho, a assistência na análise do processo ou sistema, a identificação de tarefas deficientes, a identificação de tarefas críticas que ajudem no desenvolvimento de planos de controlo, o estabelecimento de prioridades nas ações de melhoria, entre outros (Stamatis, 2003).

A figura 2.1 representa de forma sucinta os vários tipos de *FMEA*.



Figura 2.1 - Aplicações do FMEA

2.4.1 Índices do FMEA

A análise modal de falhas e efeitos, é uma ferramenta da qualidade, que desenvolve uma abordagem, que visa identificar, avaliar e eliminar falhas ou potenciais falhas, problemas ou erros presentes num sistema, projeto, processo ou serviço (Omdahl, 1988).

A aplicação desta ferramenta divide-se, maioritariamente em duas fases. Na primeira procede-se à recolha de dados através de histórico existente, permitindo conhecer o sistema, projeto, processos ou serviço em estudo. Posteriormente, a segunda fase irá consistir numa análise detalhada, por forma a conseguir definir e mensurar as falhas detetadas (Stamatis, 2003).

O FMEA tem como fundamento realizar uma análise de risco permitindo fazer a gestão do mesmo através da avaliação desenvolvida aos modos de falha. A cada falha é atribuído um valor de gravidade, ocorrência e deteção. O produto do valor atribuído às três variáveis designa o NPR (número prioritário de risco), que posteriormente irá permitir priorizar as várias falhas identificadas (Kececioglu, 1991).

Segundo Stamatis (2003), os objetivos do FMEA passam por:

- Identificar os modos de falha correntes e potenciais;
- Identificar as causas e efeitos de cada modo de falha;
- Priorizar os modos de falha de acordo com o valor de NPR;
- Elaborar planos de ação para solucionar os modos de falha identificados

A mensuração dos modos de falha em gravidade, ocorrência e deteção, foi realizada de acordo com os índices das tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 elaboradas por Liu e Liu (2013).

Para conseguir avaliar os níveis de gravidade, ocorrência e detecção é necessário definir os parâmetros que permitem realizar a avaliação dos modos falhas e *gaps*, conseguindo deste modo realizar a priorização.

Gravidade – A avaliação da gravidade é realizada de acordo com as consequências de uma determinada falha ou *gap* (Stamatis, 2003). Por norma, é costume atribuir-se nota máxima sempre que uma falha não respeite uma norma ou coloque em causa a integridade física do operador. Uma vez que a análise de *gaps* efetuada tem como fundamento um estudo de conformidade das normas Volkswagen, não seria possível priorizar a gravidade dos modos de falha e *gaps* através desse critério. Por este motivo os valores atribuídos serão em função das consequências ao nível da conformidade, eficiência e segurança (qualquer modo de falha que possibilite expedir uma peça não conforme será classificada com gravidade de nível nove, para além de custos elevados, pode pôr em causa a integridade de futuros condutores).

Tabela 2.1 - Índices de Gravidade

Índices	Valor Linguístico	Descrição
1, 2	Mínima	Sem qualquer efeito discernível no desempenho do sistema ou o mesmo é insignificante.
3, 4	Baixa	Impacte baixo no desempenho do sistema. Pode necessitar de retrabalho.
5, 6	Moderada	Impacte moderado no desempenho do sistema. 100% da série de produção requer trabalho.
7, 8	Alta	Pode afetar seriamente o desempenho do sistema.
9, 10	Muito alta	A falha é perigosa e ocorre sem aviso. Não cumpre legislação governamental e/ ou de segurança.

Ocorrência – A avaliação da ocorrência é feita de acordo com o número estimado de vezes que uma falha acontece. Durante um determinado processo, quanto maior o número de vezes que incorre em falha, maior será o valor atribuído ao parâmetro de ocorrência (Stamatis, 2003).

Tabela 2.2 - Índices de Ocorrência

Índices	Valor Linguístico	Descrição	Taxa de Falha
1	Remota	A falha é muito improvável.	≤ 1 em cada 10^6 (0.0001%)
2	Baixa	Relativamente muito poucas falhas.	1 em cada 100000 (0.001%)
3			1 em cada 10000 (0.01%)
4			1 em cada 2000 (0.05%)
5	Moderada	A falha é ocasional.	1 em cada 500 (0.2%)
6			1 em cada 100 (1%)
7			1 em cada 50 (2%)
8	Alta	Ocorrem falhas repetidas.	1 em cada 8 (12.5%)
9	Muito alta	Ocorrência inevitável ou certa da falha.	1 em cada 4 (25%)
10			≥ 1 em cada 2 (50%)

Deteção – A avaliação referente ao parâmetro de deteção tem em conta, a dificuldade em identificar uma determinada falha, quando esta acontece. Quanto mais detetável for, menor será o valor atribuído (Stamatis, 2003).

Tabela 2.3 - Índices de Deteção

Índices	Valor Linguístico	Descrição
1, 2	Quase certa	Probabilidade de deteção muito alta. Existem mecanismos de prevenção de erro.
3, 4	Probabilidade alta	Boas hipóteses de ser detetado. Deteção na estação de trabalho, antes do processamento.
5, 6	Probabilidade moderada	Provavelmente será detetado. Deteção fora da estação de trabalho, após processamento.
7, 8	Probabilidade baixa	Provavelmente a falha não será detetada. Deteção fora da estação de trabalho. Após processamento
9, 10	Quase impossível	Sem oportunidade de deteção. Não existe controlo no processo

O Número de Prioridade de Risco (NPR), permite priorizar os modos de falhas e *gaps* de acordo com a sua gravidade, ocorrência e deteção. Para cada modo de falha é calculado o produto dos três parâmetros avaliados previamente. Quanto maior o NPR, mais prioritário o modo de falha ou *gap* se torna (Stamatis, 2003).

Segundo Liu e Liu (2013) o cálculo do NPR, enquanto fator de priorização do risco apresenta algumas limitações, das quais se destacam:

- Ponderação não equitativa entre as variáveis de gravidade, ocorrência e deteção. Esta situação pode originar NPR mais elevados em situações de ocorrência, gravidade e deteção moderada do que em situações com gravidade elevada e restantes valores de ocorrência e deteção, não tão elevados. Outra consequência desta característica, é o elevado número de combinações diferentes de gravidade, ocorrência e deteção que poderão gerar o mesmo valor de NPR.
- A relação entre modos de falha não é tida em conta. Em certas situações, um determinado modo de falha poderá gerar novos modos de falha. Existe a possibilidade de erradamente a priorização NPR, atribuir maior importância a uma falha gerada por outra, do que à falha raiz.
- Subjetividade na quantificação de um modo falha. Não existe uma forma precisa de conseguir atribuir um valor de gravidade, ocorrência e deteção a um determinado modo de falha.
- A dimensão da produção não é tida em conta.

Por estes motivos, têm vindo a ser desenvolvidos sistemas alternativos, que apesar de também apresentarem as suas limitações, permitem complementar uma análise de risco baseada no valor de NPR, tais como, a teoria de *grey*, sistemas de inferência *fuzzy* e análise baseada nos custos (Geum, 2011)

Existem 4 principais tipos de *FMEA* que serão abordados na secção seguinte (Stamatis, 2003).

2.4.2 Equipa de Trabalho

A equipa de trabalho é um elemento importantíssimo no desenvolvimento do *FMEA*, uma vez que cria a oportunidade de obter uma sinergia entre diferentes áreas (Stamatis, 2003). Segundo Stamatis (2003), a equipa de trabalho deve ter entre cinco e nove elementos com espírito de trabalho de equipa. Segundo o autor, são vários os elementos que podem fazer variar produtividade da equipa, dentro dos quais se destacam:

- Cultura da Organização – A cultura da organização pode fazer variar os índices de motivação, dedicação e envolvimento dos colaboradores no dia a dia, o que se torna crucial para o desenvolvimento de um *FMEA*;
- Qualidade da Equipa – A qualidade da equipa no desenvolvimento do *FMEA* depende de fatores de relacionamento, boa gestão de tarefas, atribuição de tarefas e responsabilidades, entre outros que permitem ter uma equipa em sintonia e com dedicação total;
- Qualidade Individual – A qualidade individual irá definir a postura com que os elementos interagem, tolerando diferentes pontos de vista, procurando sempre obter as melhores conclusões para a empresa, em vez de procurar defender a área a que estão alocados, adotando uma posição defensiva ao longo do debate de ideias

Um dos aspetos mais críticos do trabalho em equipa na criação de uma sinergia, é o consenso que segundo Stamatis (2003), implica a participação ativa de todos os elementos da equipa de trabalho, podendo discordar de forma construtiva, desde que no fim atinja um consenso. Para que esta situação aconteça, não é necessário a concordância total de todos os elementos, apenas que haja aceitação pela decisão tomada, por forma, a que a equipa se sinta em sintonia.

2.5 Ferramentas da Qualidade

Para elaboração da dissertação de mestrado, utilizou-se maioritariamente a ferramenta da qualidade de análise modal de falhas e efeitos. No entanto, houve a necessidade de recorrer a algumas ferramentas de apoio ao *FMEA* que complementassem a análise abordada.

2.5.1 Fluxogramas

Os Fluxogramas consistem em representações gráficas, que permitem uma compreensão visual de processos e metodologias. A apresentação destaca-se pela forma intuitiva, lógica e sequencial das várias etapas, entradas e saídas que contribuem para o desenvolvimento do produto. A ferramenta utiliza uma simbologia própria que identifica os vários elementos presentes no fluxograma (Pereira e Requeijo, 2012).

A ferramenta deve ser aplicada de forma contínua, por forma a manter-se atualizada perante as alterações e correções que sejam aplicadas a processos e metodologias (Pereira e Requeijo, 2012).

2.5.2 Diagrama de Pareto

Esta ferramenta teve como base do seu desenvolvimento um estudo elaborado por Vilfredo Pareto, o qual constatou que uma elevada percentagem da riqueza, encontrava-se dividida por uma minoria populacional. Esta relação acabou por ser adaptada ao mundo industrial através de Joseph Juran, demonstrando que 80% dos problemas produtivos, devem-se apenas a 20% das causas presentes (Pereira e Requeijo, 2012).

O digrama de Pareto aplicado a um *FMEA*, permite identificar os valores de NPR de cada modo de falha, bem como a sua contribuição relativa e acumulada para o problema, permitindo dessa forma identificar quais os modos de falha que em menor número representem sensivelmente 80% dos efeitos totais. Desta forma, torna-se possível identificar quais são as causas ou modos de falha mais determinantes na ocorrência de um determinado problema, bem como, compreender qual a melhor ordem de atuação para estes problemas, por forma a melhorar a eficiência dos planos de ação (Pereira e Requeijo, 2012).

Segundo Pereira & Requeijo (2012) a sequência de elaboração de um diagrama de Pareto passa pelas seguintes fases:

1. Definir os dados e período de recolha;
2. Proceder à recolha dos dados;
3. Classificar os dados obtidos em categorias e quantificar cada uma delas;
4. Calcular a percentagem relativa a cada categoria;
5. Ordenar as percentagens obtidas por ordem decrescente de valor;
6. Representar num gráfico de barras as categorias (eixo horizontal) e as respetivas percentagens relativas (eixo vertical);
7. Traçar a curva dos valores acumulados das frequências.

Para identificar os tipos de defeitos e prioridade de atuação, recorre-se também a uma análise ABC onde consoante a relação percentual causa-efeito, define-se o defeito como sendo do tipo A,B ou C (Pereira e Requeijo, 2012).

Na tabela 2.4 é possível compreender melhor a classificação atribuída, no entanto é de destacar que os valores percentuais podem apresentar algumas flutuações.

Tabela 2.4 - Classes ABC causas efeitos

Classes	Percentagem de Causas	Percentagem de Efeitos
A	20%	80%
B	30%	15%
C	50%	5%

2.5.3 Brainstorming

O *Brainstorming* é uma técnica adaptável a qualquer ferramenta da qualidade, permitindo obter soluções e ideias criativas, conjugando uma equipa multidisciplinar podendo assim obter uma sinergia de pontos de vista significativamente distintos (Pereira e Requeijo, 2012).

Segundo Pereira & Requeijo (2012) o *Brainstorming* é desenvolvido em três fases:

1. Os elementos da equipa apresentam as suas ideias sobre um determinado tema;
2. Filtra-se as ideias apresentadas, eliminando-se algumas menos apropriadas;
3. Desenvolve-se uma seleção das ideias mais adequadas, bem como, a sua priorização.

2.5.4 Diagrama em Árvore

O Diagrama em Árvore, segundo Pereira & Requeijo (2012), é uma ferramenta da qualidade, onde é possível demonstrar todos os caminhos a percorrer com vista a atingir um objetivo, utilizando para isso uma estrutura de organigrama.

Esta ferramenta garante uma resolução de problemas, onde todos os passos são cumpridos de forma lógica e sequencial (Pereira e Requeijo, 2012).

Segundo Pereira & Requeijo (2012) as fases de construção de um diagrama em árvore passam por:

1. Identificação do objetivo, podendo, para tal, pôr-se em prática outra ferramenta da qualidade, o *brainstorming*, conseguindo assim definir os objetivos de nível 1 que darão origem ao objetivo final;
2. Desenvolver o desdobramento, definido para cada objetivo do nível 1;
3. Realizar revisões contínuas ao diagrama, por forma a eliminar passos incoerentes e a melhorar a eficiência e a estrutura da árvore.

Capítulo 3 - Metodologia e Caso de Estudo

3.1 Metodologia

O objetivo proposto para a dissertação de mestrado foi melhorar a eficiência da produção da empresa onde o caso de estudo foi realizado, através de um processo de melhoria contínua. Para tal, foi necessário avaliar os processos da empresa, com base em três produtos de modo a conhecer a sua conformidade perante as normas do cliente Volkswagen em vigor e prevenir erros no novo projeto da empresa, relativos ao lançamento do novo modelo.

A primeira fase deste projeto, consistiu na identificação de *gaps*. Para tal, foi necessário limitar o estudo ao nível de processos e produtos abrangidos. O estudo realizado foi dirigido a três produtos acabados: *Dichtkanal*, *Radhause* e *Tunnel*, nos quais foram avaliados todos os processos de produção, bem como, os testes da qualidade a que estão sujeitos.

Para a identificação dos *gaps*, foi necessário conhecer o que empresa faz e o que a empresa deveria fazer num cenário ideal. Como tal, avaliou-se a qualidade da produção da empresa, relativamente aos requisitos estipulados nas normas Volkswagen, conseguindo deste modo realizar a identificação dos *gaps*.

Após a identificação dos *gaps*, procedeu-se ao desenvolvimento de uma Análise Modal de Falhas e Efeitos, tendo como *input* para a ferramenta da qualidade, os *gaps* anteriormente identificados. Para o desenvolvimento do projeto, recorreu-se ao *Microsoft Excel*, por forma a conseguir elaborar todas as tabelas, gráficos e cálculos.

Na fase posterior à identificação dos modos de falhas, realizou-se um brainstorming, onde se identificou as causas raiz, com a utilização de árvore de causas, e definiram-se os planos de ação a aplicar com a finalidade de melhorar os processos atualmente praticados pela empresa Schnellecke.

No fluxograma da figura 3.1, está representada a metodologia associada ao processo de análise de *gaps* aplicada no caso de estudo. O fluxograma visa as várias atividades após a definição do âmbito e criação da equipa de trabalho.

A fase inicial da análise de *gaps*, acenta na identificação dos potenciais *gaps* ou modos de falhas. O caso de estudo teve como base as normas Vw, que possibilitou a identificação dos parâmetros de conformidade dos processos e produtos da empresa. Na fase seguinte, analisou-se os processos e produtos em estudo, identificando estar-se ou não na presença de um modo de falha ou *gap*. Nesta fase pode-se constatar duas situações:

- O processo ou produto está em conformidade, e consequentemente analisa-se outro potencial *gap* ou modo de falha;

- O processo ou produto não está em conformidade e será desenvolvida uma análise de risco através do FMEA.

Para o desenvolvimento da Análise Modal de Falhas e Efeitos é necessário identificar as causas, efeitos, quantificar os níveis de gravidade, detecção e ocorrência e ainda, elaborar planos de ação. Nesta fase aplicou-se o Brainstoming, por forma, a identificar e discutir todas as respostas necessárias ao desenvolvimento do FMEA, e desenvolvimento de diagramas em árvore das causas raiz. Posteriormente é desenvolvida uma avaliação de risco através de dois métodos distintos (NPR e teoria de relação de grey), permitindo priorizar os modos de falha/gaps em que se irá atuar.

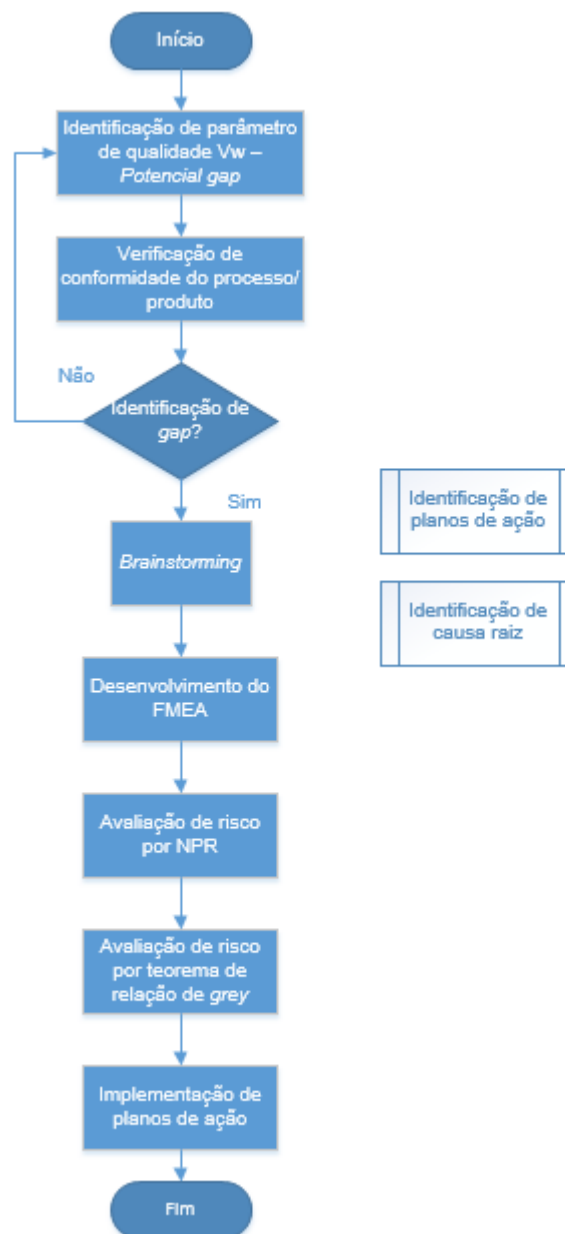


Figura 3.1 - Fluxograma da Metodologia Geral do Trabalho

3.2 Introdução ao Caso de Estudo

O caso de estudo apresentado neste trabalho decorreu no departamento de Qualidade e Engenharia do Produto na empresa Schnellecke.

A Schnellecke é uma empresa internacional de serviços de logística dentro da indústria automóvel onde são desenvolvidas atividades de transporte, planeamento de rotas, gestão de armazém, pré-montagem, serviços de valor acrescentado na sequência de produção e embalamento. A empresa desempenha também produção de peças automóvel, desenvolvendo atividades de soldadura, perfilagem e acabamentos. As peças desenvolvidas são posteriormente entregues ao cliente, por forma a integrarem a carroçaria final do automóvel.

A Schnellecke Portugal desenvolve atualmente parte da produção de elementos da carroçaria dos modelos Scirocco e Sharan da Volkswagen, encontrando-se em fase de planeamento para integração do novo modelo, designado T-roc.

O desenvolvimento deste projeto, gerou a necessidade de criar uma equipa de diferentes áreas de trabalho. A equipa possibilitou uma sinergia entre departamentos aumentando a diversidade de raciocínios e ideias, tendo cumprido com os objetivos a que se comprometeu

A equipa de trabalho foi constituída por elementos dos departamentos de Engenharia do Produto e Qualidade, Engenharia do Processo, Operações e Manutenção, conseguindo assim, obter-se uma maior pluridisciplinaridade.

Após a constituição da equipa de trabalho deu-se início ao desenvolvimento do caso de estudo, começando pela identificação dos vários parâmetros de referência que serão abordados na secção 3.3.

3.3 Parâmetros de Referência de Soldadura e Testes da qualidade

As normas de qualidade Vw, que regem as conformidades e níveis de qualidade das peças em estudo, definem quais os testes da qualidade destrutivos e não destrutivos que podem ser aplicados, com vista a obter o nível de conformidade e segurança desejado.

Nos subcapítulos seguintes, irá ser feita uma breve abordagem sobre cada um dos testes da qualidade que são aplicados na empresa. No entanto, não serão ainda abordados quais os valores ou parâmetros que definem se um produto está ou não em conformidade. Os parâmetros variam de peça para peça e como tal, os valores de conformidade serão posteriormente abordados no capítulo 4.

3.3.1 Soldadura de Pontos por Resistência

A soldadura de pontos por resistência consiste no aquecimento da zona entre as chapas até à sua fusão. O aquecimento é gerado por resistência elétrica e pela força de eletrodo simultaneamente. O tamanho, forma e posição do material de base fundido dependem da interação temporal e espacial entre as quantidades de calor geradas e dissipadas na zona de soldadura e periferias. A junta soldada que é produzida durante este processo, e que une as diferentes chapas é designado como "ponto de soldadura" (VW 01105-1, 2014).

Toda a estrutura soldada deve ser " apropriada para a soldadura ", a fim de alcançar o melhor resultado possível. Isto significa que as dimensões do equipamento de soldadura, os requisitos dos eletrodos, e a acessibilidade da peça de trabalho já têm de ser tidos em consideração durante o desenvolvimento do projeto (VW 01105-1, 2014).

Segundo a norma Vw 01105-1 existem três variáveis que devem ser tidas em conta durante a implementação de um processo de soldadura:

- *Welding suitability* (Adequação do material de soldadura)
- *Welding reliability* (Fiabilidade da soldadura)
- *Welding capability* (Capacidade de produção/soldadura)

3.3.2 Soldadura de Protuberâncias por Resistência

A soldadura de protuberâncias é um método de soldadura por resistência, aplicado quando os eletrodos são usados para unir dois componentes (porcas, parafusos, *studs*, *bolts*), através da aplicação de corrente elétrica e força. Uma das duas peças inclui, tipicamente, um tipo de protuberâncias. Estas protuberâncias irão dar origem aos pontos de soldadura, através da fusão das mesmas (VW 01103, 2016).

As protuberâncias são parcialmente fundidas durante a soldadura, derivado da força exercida pelos eletrodos e do calor gerado pela corrente elétrica, produzindo ligações nos pontos de contacto sob a forma de uma zona fundida no plano de junção (VW 01103, 2016).

O material de soldadura é rodeado por uma zona afetada pelo calor (HAZ). Uma ou mais saliências podem ser soldadas ao mesmo tempo, num único passo de processamento, se o processo e desempenho do equipamento de soldadura assim o permitirem (VW 01103, 2016).

3.3.3 Inspeção Visual

A inspeção visual sem meios auxiliares, realizada a juntas soldadas por pontos, consiste, numa avaliação realizada pelo operador à junta de soldadura a “olho nu”. O uso de uma lente de aumento ou microscópio não é permitido (PV 6702, 2010).

Por vezes, a inspeção pode ser complementada através da utilização de *chisel* ou cunha. Neste teste, uma cunha é empurrada num local próximo ou entre os pontos de soldadura. Este teste adicional é realizado de forma intervalada entre testes destrutivos (por ex.: teste destrutivo de *tear down*). O teste é usado exclusivamente para inspeção e monitoramento do equipamento de soldadura e fornece a informação relativa à formação da junta de soldadura (PV 6702, 2010).

Este teste é aplicado para juntas de chapas, nas quais a chapa mais fina possa ter uma espessura máxima de 1,2 mm, bem como, para materiais com resistência a testes de tensão inferiores a 400 N/mm² (PV 6702, 2010).

3.3.4 Teste Não Destrutivo de Ultra-sons

Durante o teste ultra-sons, uma sonda que funciona simultaneamente como transmissor e recetor é usada para enviar um eco de tempo limitado para o ponto de soldadura. Posteriormente, o dispositivo alterna imediatamente para o modo de receção e regista a chegada do eco (PV 6702, 2010).

O impulso ultrassónico é amplamente refletido no aço ou numa área de espaçamento entre chapas sem material de soldadura. Caso exista um ponto de soldadura intacto, o eco deixará de ser amplamente refletido e será possível afirmar que o ponto de soldura apresenta zero defeitos. A técnica de ultra-sons permite também inferir quando à espessura do ponto de soldadura e respetiva penetração na chapa (PV 6702, 2010).

3.3.5 Torque

O torque tem de ser aplicado com um dispositivo de teste adequado e calibrado. O limite máximo de erro é 2% em relação ao valor máximo especificado para as dimensões da protuberância em estudo (VW 60560, 2015).

A Figura 3.2 proporciona um diagrama esquemático da configuração de teste.

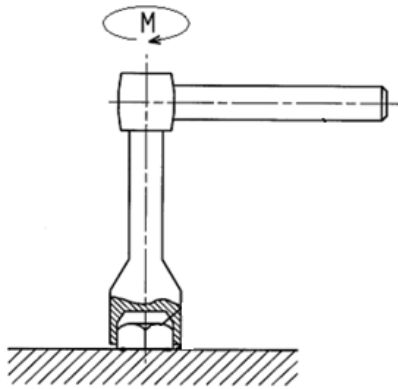


Figura 3.2 - Representação de Torque

3.3.6 Teste Destrutivo de Metalografia

O teste metalográfico é um teste destrutivo, onde os pontos de soldadura são cortados no centro, permitindo criar uma micro-seção. A micro-estrutura metálica é tornada visível usando um agente cáustico apropriado (por ex.: 2% de solução de ácido nítrico em álcool). A avaliação é realizada numa ampliação de 50:1 (ou maior). A realização deste teste, apresenta custos elevados devido ao tempo que é necessário dedicar (PV 6702, 2010).

O teste passa por cinco fases até ser possível avaliar a qualidade da soldadura.

1. Corte do ponto de soldadura criando uma micro-seção;
2. Prensagem do ponto de soldadura a ser avaliado em grafite;
3. Polimento da face a ser analisada;
4. Aplicação de agente cáustico na superfície;
5. Visualização e análise da qualidade de soldadura através do auxílio de microscópio.

3.3.7 Teste Destrutivo de Tear down

No teste de *tear down*, um martelo pneumático é utilizado de forma a separar as chapas soldadas até a junta de pontos de soldadura ser destruída. Neste processo, a soldadura pode ser arrancada ou fraturar no plano de união. Também é possível ocorrer a combinação de ambos os tipos de fratura. Se o esforço do teste for demasiado alto, pode-se recorrer ao teste de metalografia, podendo posteriormente estimar a dimensão do ponto de soldadura em função do *nugget* de soldadura obtido. Isto aplica-se em particular, às chapas de espessura > 2,0 mm, assim como, a aços de alta resistência ou temperados (PV 6702, 2010).

Segundo a PV 6702 (2010) a medição dos pontos de soldadura é realizada através do valor médio entre dois diâmetros perpendiculares.

3.3.8 Teste Destrutivo de Tensão Normal e Cisalhamento

O teste de cisalhamento, tal como representado na figura 3.3 é um teste destrutivo. Um ponto de soldadura individual é testado numa máquina de teste de tensão até o ponto de soldadura ou o componente falharem. É medida a força de tensão requerida no momento de fratura (PV 6702, 2010).

Se possível, o teste de cisalhamento deve ser realizado para todas as juntas de soldadura. O teste deve simular a direção da tensão real a que os pontos ficarão sujeitos. Equipamento auxiliar pode ser necessário para este propósito (PV 6702, 2010).

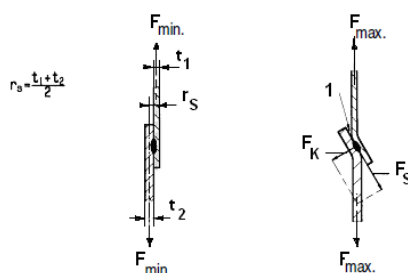


Figura 3.3 - Representação de Forças de Tensão

Legenda

1 Entalhe externo depois da tensão

r_s A alavanca que divide a força de tensão dentro de uma parte de tensão cruzada F_c e uma parte de tensão cisalhante F_s .

O teste de tensão normal, representado na figura 3.4 é também um teste destrutivo, tal como o teste de cisalhamento, este, é realizado numa máquina de teste de tensão, porém, a carga é aplicada verticalmente ao ponto de soldadura para o plano da chapa. O teste pode ser realizado de acordo com a figura 3.4 em casos excepcionais. Durante o teste de tensão normal, 25% a 40% da força mínima de tensão de cisalhamento F_{min} deve ser alcançada (PV 6702, 2010).

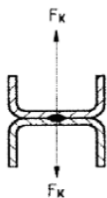


Figura 3.4 - Representação de Força de Tensão

3.4 Parâmetros de Referência da Análise de Gaps

A análise de *gaps*, segundo Foster (2001) procura responder a 4 principais questões:

- Onde estamos?
- Onde queremos estar?
- O que temos de fazer para chegar onde queremos?
- Como se faz?

Estas quatro questões, foram alvo de abordagem ao longo do desenvolvimento da dissertação. As respostas às duas primeiras questões foram desenvolvidas respetivamente, através do conhecimento do que é atualmente realizado pela empresa e do que as normas de referência indicam. Relativamente à terceira questão, optou-se por realizar uma Análise de Risco suportada na ferramenta de qualidade AMFE, conseguindo assim, obter os respetivos planos de ação que irão permitir responder à última questão colocada pela metodologia de Análise de *Gaps*.

A aplicação da Análise de *Gaps*, teve como base de referência a comparação entre os parâmetros estipulados pelas normas Volkswagen e o trabalho real desenvolvido na empresa. Nem todos os *gaps* identificados têm como base a informação estipulada por normas Volkswagen, uma vez que alguns dos critérios a cumprir, são acordados exclusivamente entre cliente e fornecedor.

As normas abrangidas ao longo do estudo foram:

- Vw 01105-1 (2004): Soldadura de Pontos por Resistência
- Vw 01105-4 (2011): Soldadura de Pontos por Resistência em Juntas de três Chapas
- Vw 01103 (2016): Soldadura de Protuberâncias por Resistência
- Vw 60560 (2015): Juntas de Soldadura com Elementos de Aço/Ferro
- PV 6727 (2009): Soldadura de Protuberâncias em Juntas de Chapas Finas de Aço/Ferro
- PV 2049 (2011): Aplicação de Cola em Produção de Carroçaria
- PV 6702 (2010): Juntas Soldadas por Pontos em Materiais de Aço

3.4.1 Identificação dos Parâmetros de Referência dos Pontos de Soldadura

Os parâmetros de referência foram obtidos através das normas citadas no capítulo anterior. Os vários valores de referência foram avaliados na produção, através de inspeção visual, testes de metalografia, testes de *Tear down*, ultra-sons e torque.

Nem todos os parâmetros referidos nas normas serão abordados. Apenas serão referidos os parâmetros que sejam potenciais *gaps* dos produtos acabados em estudo.

- *Diâmetro do Nugget “dn”*

Na figura 3.5 pode-se visualizar o diâmetro do *nugget* do ponto de soldadura, “dn”, segundo a norma Vw 01105-1 (2004), é definido como: “diâmetro da área do plano da junta de soldadura (perpendicular à junta do plano) que derreteu durante o processo de soldadura, criando uma microestrutura diferente do material base.

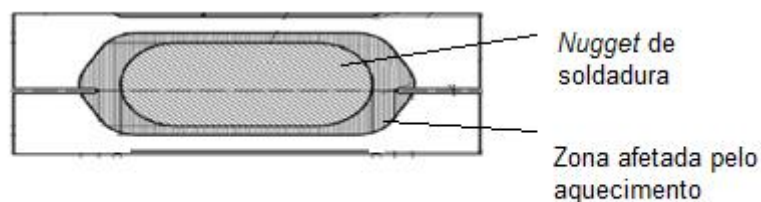


Figura 3.5 - Ponto de Soldadura na interceção de duas chapas

O diâmetro do *nugget* deve respeitar as seguintes medições:

- $dn_{min} = 3,5 \cdot \sqrt{t_1}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina da junta (VW 01105-1, 2014) $dn_{máx} = 6,5 \cdot \sqrt{t_v}$; (VW 01105-1, 2014)
- $t_v = 0,8 \cdot t_1 + 0,2 \cdot t_2$, sendo t_2 a espessura da chapa mais grossa da junta (VW 01105-1, 2014);

Este diâmetro pode ser verificado no processo de Metalografia, ou estimado através do valor do diâmetro “dw” obtido no processo de *Tear down* (VW 01105-1, 2014).

Na figura 3.6 visualiza-se os equipamentos utilizados nas fases do processo de Metalografia: corte, prensagem, polimento, mistura em solução ácida e visualização microscópica.



a)



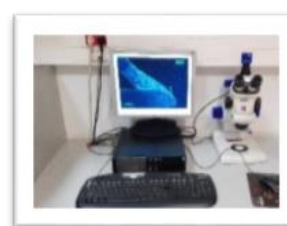
b)



c)



d)



e)

Figura 3.6 – Fases da metalografia. a) primeira fase, Corte; b) segunda fase, Prensagem; c) terceira fase, Polimento; d) quarta fase, Criação de Contraste; e) quinta fase, Avaliação microscópica

- *Diâmetro do Ponto “dw”*

O diâmetro do ponto de soldadura, “dw”, define-se segundo a norma (VW 01105-1, 2014) como: “O diâmetro do ponto de soldadura presente na chapa, após o arrancamento.”

O valor do diâmetro será calculado pela média de dois diâmetros perpendiculares gerados na chapa, após o processo de *Tear down* (VW 01105-1, 2014).

Na figura 3.7, 3.8 e 3.9 pode-se visualizar os diferentes tipos de “botão” formados após o arrancamento da chapa.

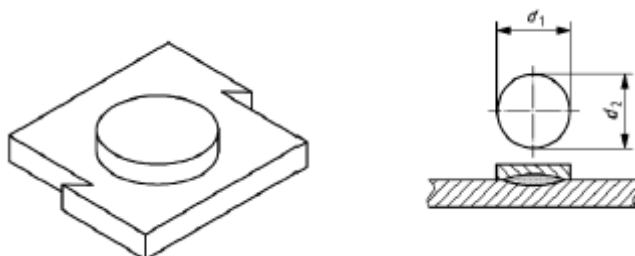


Figura 3.7 - Ponto de Soldadura após Tear Down, Pull out Failure

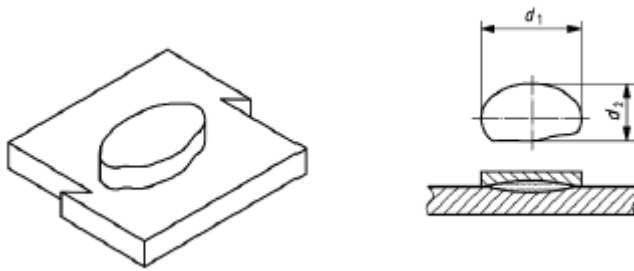


Figura 3.8 - Ponto de Soldadura após Tear Down, Pull out Failure

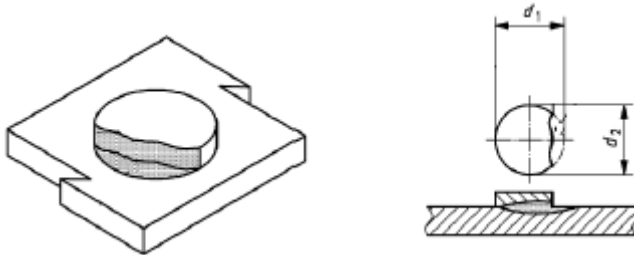
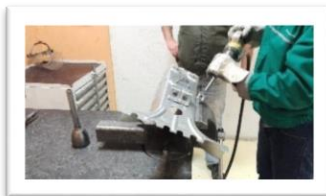


Figura 3.9 - Ponto de Soldadura após Tear Down, Partial Button Pull Failure

Dependentemente do “botão” gerado no processo de *Tear down*, representado na figura 3.10, realiza-se uma estimativa diferente para o valor de “dn”:

- Para as duas primeiras superfícies, *pullout failure*, utiliza-se a estimativa de $d_w = 1.15 \cdot d_n$ (VW 01105-1, 2014). – Os valores de diâmetros obtidos através destas superfícies serão designados como “dw a,b” e “dn a,b”
- Para o terceiro tipo de superfície, *partial button pull failures*, utiliza-se a estimativa $d_w = d_n$, uma vez que o *nugget* encontra-se total ou parcialmente descoberto, sendo possível fazer a sua medição diretamente, ou a medição de um valor aproximado (VW 01105-1, 2014). – Os valores de diâmetros obtidos através destas superfícies serão designados como “dw c” e “dn c”

a)



b)



c)



Figura 3.10 - Processo de Tear Down: a) Processo de arrancamento, b) “botão” do tipo Pullout Failure, c) Martelo Pneumático

- *Offset e Espaçamento de Overlap*

O *offset* e espaçamento de *overlap*, correspondem às distâncias representadas na figura 3.11, respectivamente por “g” e “k”.

Ambos os parâmetros têm que respeitar os valores de referência estipulados na norma. (VW 01105-1, 2014)

- $K \geq 2\text{mm}$; (Vw 01105-1, 5.2.5.9)
- $g \geq t$; (Vw 01105-1, 5.2.5.9)

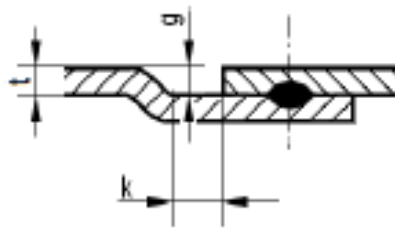


Figura 3.11 - Representação da Distância Offset e Espaçamento Overlap

- *Aplicação de Eléttodos Adequados*

O Ponto de Soldadura deve ser criado através de eléctrodos adequados que não coloquem em causa a qualidade da soldadura. A falta de conformidade dos eléctrodos tal como representado na figura 3.12, pode gerar passagem de corrente eléctrica e ausência de perpendicularidade entre chapas. (VW 01105-1, 2014) Eléttodos a evitar:

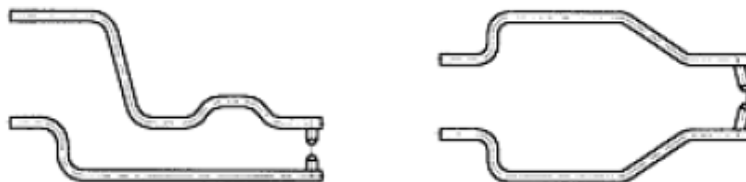


Figura 3.12 - Exemplos de eléctrodos de soldadura a evitar

Na figura 3.13, a distância mínima “Cc”, que para evitar passagens de corrente eléctrica:

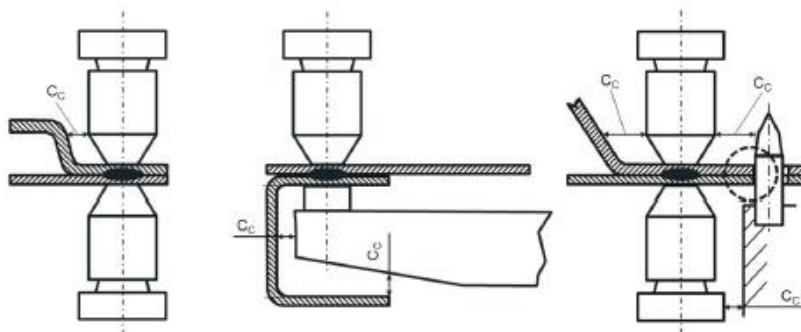


Figura 3.13 - Representação da Distância Cc

- *Sequência dos Pontos de Soldadura*

A sequência de um conjunto de pontos numa determinada junta, deve ser feita por forma a não colocar em causa a conformidade da chapa. (Vw 01105-1, 5.3)

Para evitar deformações causadas pela força de impacto dos eléktodos, os pontos devem ser soldados com uma sequência, da parte “interior” da chapa, para a parte “exterior”, tal como demonstrado na figura 3.14 (VW 01105-1, 2014).

As imagens da direita demonstram como a sequência deve ser feita. As imagens à esquerda demonstram o tipo de sequências que deformam as chapas ao longo da atribuição dos pontos de soldadura.

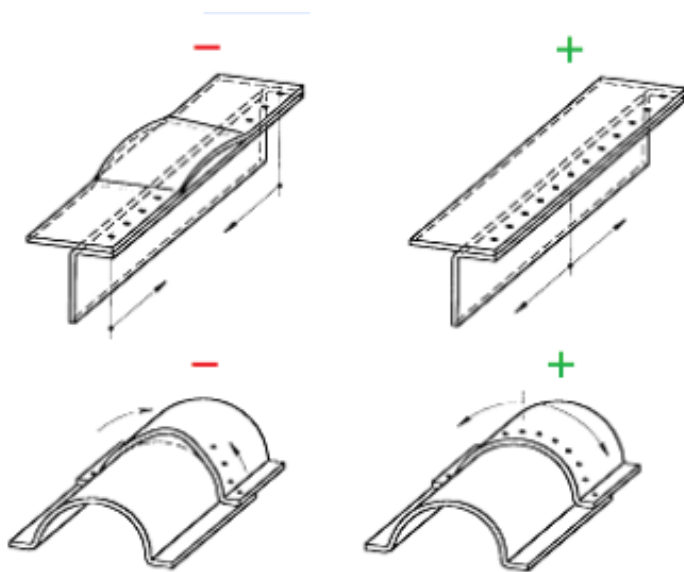


Figura 3.14 - Representação do Impacte de diferentes sequências de pontos de soldadura

- *Perpendicularidade da Chapa*

A junta de pontos de soldadura tem de permitir a perpendicularidade entre as chapas e o eixo dos eléktodos, tal como representado na figura 3.15 e 3.16:

Eixo dos eléktodos não perpendicular à chapa:

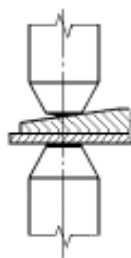


Figura 3.15 - Eixo de soldadura não perpendicular com chapa

Eixo dos eletrodos perpendicular à chapa:

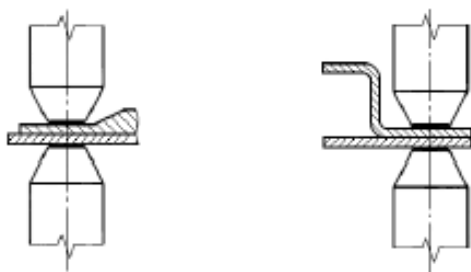


Figura 3.16 - Eixo de soldadura perpendicular com chapa

- *Testes de Resistência da Junta de Soldadura*

Por forma a conhecer qual a capacidade de uma determinada junta de soldadura, é sugerido pelas normas Vw 01105-1 (2014) e PV 6702 (2009) que se conheça a tensão que a junta resiste, tal como representado na figura 3.17 e 3.18. Existem quatro diferentes testes que avaliam a qualidade da soldadura, a partir de cargas de força:

- *Tensile Shear Force – Força de Tensão de Cisalhamento*
- *Torsion - Torção*
- *Cross-tension Force – Força de Tensão Normal*
- *Tensile Peel Force – Força de Tensão de “Descasque”*

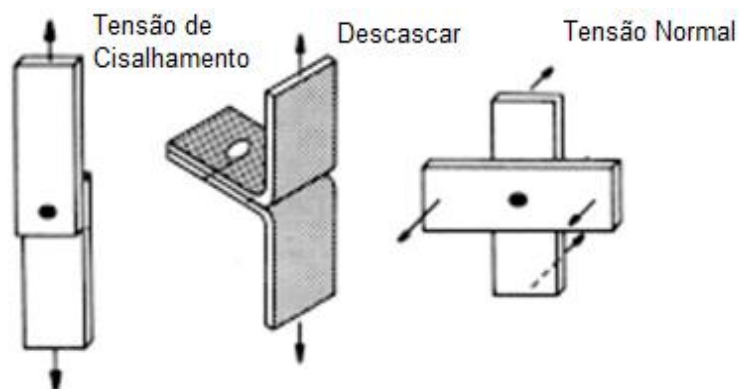


Figura 3.17 - Representação de forças de tensão em ensaios destrutivos



Figura 3.18 - Representação da força de torção em ensaios destrutivos

As normas Vw 01105-1 (2014) e PV 6702 (2009), indicam qual a relação existente entre tensão de resistência da junta e o diâmetro estipulado dos pontos que a constituem.

Devido à falta de equipamento este Teste da Qualidade não é aplicado. Por este motivo, os valores de referência para a resistência da junta não serão aprofundados.

- *Distância do Nugget Ponto de Soldadura à Extremidade e Curva da Peça*

As distâncias mínimas do *nugget* do ponto de soldadura à extremidade e curva das peças, representadas respectivamente por " V_n " e " V_n' ", é de 1.5 mm, para o tipo de material utilizado na produção estudada, ($R_m \leq 1000$ Mpa). (Vw 01105-1, 2014).

Na figura 3.19 é possível verificar a representação das distâncias ao *nugget* do ponto de soldadura.

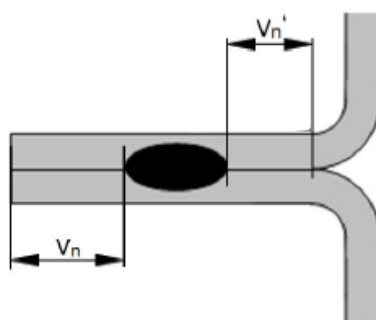


Figura 3.19 - Representação das distâncias V_n e V_n'

- *Passagens de Corrente Elétrica*

O ponto de soldadura é gerado através do equilíbrio entre vários parâmetros, tais como, a tensão elétrica e a intensidade de corrente (VW 01105-1, 2014).

Caso o elétrodo de soldadura entre em contacto com alguma superfície, que não a localização do ponto de soldadura, ocorre passagem de corrente elétrica (também designado como *Shunt*). A passagem de corrente elétrica irá fazer com que ocorra um desvio nos parâmetros de soldadura e como tal, gera-se uma alteração na qualidade do ponto (VW 01105-1, 2014).

- *Indentação na Superfície do Ponto*

O ponto de soldadura não poderá apresentar indentação na superfície do ponto, criada pelos elétrodos (VW 01105-1, 2014).

Na figura 3.20 é possível verificar um exemplo de indentação no ponto.

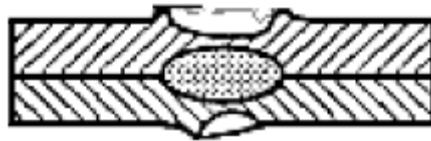


Figura 3.20 - Indentação do ponto de soldadura

- *Ponto de Soldadura com Material Fundido*

O ponto de soldadura não poderá apresentar material fundido, que pode ser causado por salpicos de material durante a soldadura (VW 01105-1, 2014).

Na figura 3.21 é possível verificar um exemplo de ponto de soldadura com material fundido.

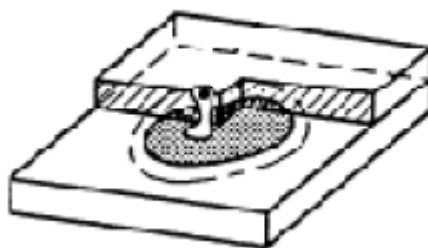


Figura 3.21 - Ponto de soldadura com material fundido

- *Posição do Ponto*

O ponto de soldadura tem de respeitar a posição estipulada pelo desenho técnico. O posicionamento do ponto tem um desvio possível de ± 5 mm, desde que a funcionalidade não fique em risco (Vw 01105-1, 2014).

- *Distância do Ponto de Soldadura à extremidade da peça*

A distância do ponto de soldadura à extremidade, criada pela indentação dos elétrodos “VE” tem de ser superior a 2mm. Na figura 3.22 é possível verificar o que representa a designação “VE” e qual a diferença do “vn”, que determina a distância à extremidade a partir do diâmetro do *nugget* (Vw 01105-1, 2014).

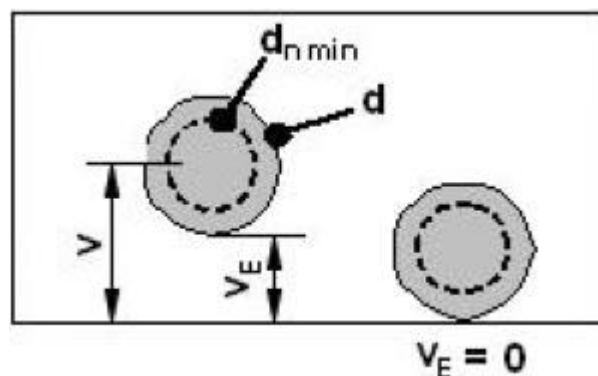


Figura 3.22 - Representação de $d_{n\ min}$, V e VE

- *Aspetos Internos do Ponto de Soldadura*

Todos os aspetos internos dos pontos de soldadura tais como os das figuras 3.23 a 3.28, são avaliados pela técnica de metalografia. Através deste método é possível conhecer o diâmetro e penetração do *nugget*, bem como as características internas do ponto de soldadura, tal como indica a norma Vw 01105, A.2:

- Existência de poros

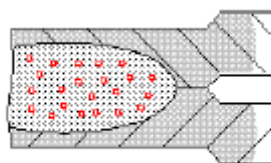


Figura 3.23 - Representação de porosidade no ponto de soldadura

- Área com porosidade $\leq 8\%$ da área de superfície do *nugget* do ponto de soldadura
- Não pode atingir o plano da junta
- Somatório do diâmetro dos poros $\leq 05 \cdot d_n$.

- Existência de fissuras no *nugget* e/ou chapa soldada

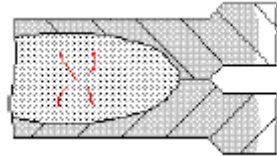


Figura 3.24 - Representação de fissuras no ponto de soldadura

- Existência de inclusões no *nugget*

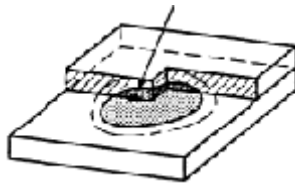


Figura 3.25 - Representação de inclusões no ponto de soldadura

- Material na zona de pressão

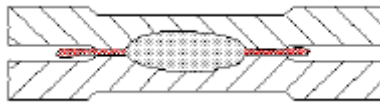


Figura 3.26 - Representação de excesso de material de soldadura

- Assimetria do ponto de soldadura (sendo que “p” designa a penetração da soldadura na chapa)

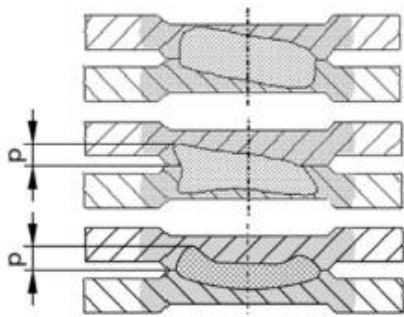


Figura 3.27 - Representação de assimetria no ponto de soldadura

- Falta de fusão no ponto de soldadura

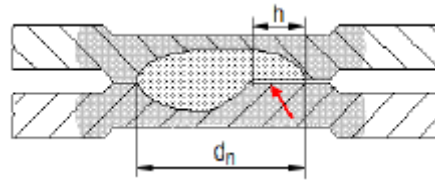


Figura 3.28 - Representação de falta de fusão no ponto de soldadura

Todas as características descritas têm níveis diferentes de permissibilidade consoante a dimensão do defeito presente no ponto e quão significativo se torna para a qualidade do mesmo.

3.4.2 Identificação dos Parâmetros de Referência da Soldadura de Protuberâncias

Os parâmetros de referência foram obtidos através das normas técnicas Vw. Os vários valores de referência foram avaliados na produção, através de inspeção visual, testes de metalografia, testes de *tear down*, ultra-sons e torque.

Nem todos os parâmetros referidos nas normas serão abordados. Apenas serão referidos os parâmetros que sejam potenciais *gaps* dos produtos acabados em estudo, ou seja, as protuberâncias presentes na *Dichtkanal* e *Tunnel*, presentes em Porcas e *Studs*.

Neste capítulo não serão referidos os parâmetros comuns aos pontos de soldadura e já explicitados.

- *Dimensão do Nugget da Protuberância Soldada (alongado e redondo)*

O *nugget* do ponto de soldadura necessita cumprir com as condições de referência estipuladas pela norma Vw 01103, por forma a que a soldadura assegure as propriedades inerentes à conformidade da soldadura.

- Protuberância redonda: $d_n \text{ min} = 0.65 \cdot d_1$, sendo “ d_1 ” o diâmetro da protuberância;
- Protuberância alongada: $L_n \text{ min} = 0.65 \cdot L_p$, sendo “ L_p ” o comprimento da protuberância e “ $L_n \text{ min}$ ” o comprimento mínimo do *nugget*;
- Protuberância alongada: $W_n \text{ min} \geq W_p$, sendo “ W_p ” a largura da protuberância e “ W_n ” a largura mínima do *nugget*.

- *Penetração da Protuberância na Chapa*

Para que ocorra uma soldadura por resistência da protuberância na chapa, é necessário que o material soldado penetre na chapa, como referido na norma Vw 01103, o valor “p” de penetração deve ser igual ou superior a 0.2 mm, para que se encontre em conformidade.

- *Resistência Mínima à Força de Tração e Torque*

A avaliação de soldadura de protuberâncias presentes em porcas, *studs* e *bolts*, pode ser complementada através de testes de tração e torque, tal como referido pela norma Vw 01103. Estes testes permitem conhecer quais os valores mínimos de *Newtons/m²* e *Newton-metro* respetivamente, a que os componentes soldados devem resistir.

A norma Vw 01103, refere quais os valores de referência de torque e força de tração, que os componentes têm de tolerar e que são obtidos através de interpolação dos valores da tabela 3.1.

O teste de tração será abrangente a todos os componentes que sejam soldados, ao contrário do teste de torque, que é exclusivo para porcas soldadas (VW 01103, 2016).

Tabela 3.1 - Tabela de Interpolações para cálculo de torque e força de tração mínima

												M12 × 1.5; (M12) ^{a)} M14 × 1.5 M16 × 1.5 7/16 – 20 UNF ^{b)}	
		M4		M5		M6		M8		M10			
		t em mm											
		0.5	≥ 1.25	0.5	≥ 1.25	0.5	≥ 1.75	0.75	≥ 3	1	≥ 3.5	1.5	≥ 3.5
F _{CT, min}	N	1 200	2 000	1 200	2 000	1 400	2 500	2 300	4 000	4 500	8 000	4 800	8 000
T _{min} ^{c)}	Nm	10	15	14	20	25	35	65	85	100	130	110	155
Interpolação para força de tração F _{CTI, min} e torque mínimo T _{I, min} para rosca M6 e espessura de t _i = 1 mm:													
$F_{CTI, min} = \frac{(F_{CT, min [1.75]} - F_{CT, min [0.5]} \times (t_i - t_{min}))}{t_{max} - t_{min}} + F_{CT, min} \rightarrow F_{CTI, min} = \frac{(2\,500\,N - 1\,400\,N) \times (1\,mm - 0.5\,mm)}{1.75\,mm - 0.5\,mm} + 1\,400\,N$ $= 1\,840\,N$													
$T_{I, min} = \frac{(T_{min [1.75]} - T_{min [0.5]} \times (t_i - t_{min}))}{t_{max} - t_{min}} + T_{min} \rightarrow T_{I, min} = \frac{(35\,Nm - 25\,Nm) \times (1\,mm - 0.5\,mm)}{1.75\,mm - 0.5\,mm} + 25\,Nm$ $= 29\,Nm$													

a) M12 pode ser usado em casos especiais

b) Permitido apenas para fixação do cinto de segurança

c) Apenas para porcas de soldadura

3.4.3 Identificação dos Parâmetros de Referência da Ligação de Chapas por Cola

O presente capítulo, irá abordar o processo de aplicação de cola em juntas com pontos de soldaduras. Este processo tem como objetivos, o reforço da capacidade de resistência das juntas de soldadura, criação de isolamento sonoro e de vibrações, bem como, proteger a junta soldada de agentes corrosivos (PV 2049).

- *Quantidade de Cola em Conformidade com o Desenho*

A quantidade de cola aplicar é definida pelo desenho técnico da peça através de volume (cm³) e peso (g). Segundo a norma PV 2049, a quantidade estipulada no desenho deve respeitada por forma a que a ligação de cola cumpra a sua funcionalidade.

Caso a quantidade de cola esteja não conforme, para além de afetar custos (caso seja utilizada em excesso), poderá também, prejudicar a funcionalidade devido a não cobrir a área estipulada de cola ou gerar vazamento de cola pelas extremidades, devido a excesso da mesma.

- *Posição, Geometria e Local da Cola*

Segundo a norma PV 2049, a disposição de cola deve seguir a configuração apresentada no desenho técnico da peça. A cola deve ser aplicada dentro da região definida pelo desenho, permitindo após a soldadura de pontos, que a cola não exceda, nem perca a geometria desejada, conseguindo respeitar o comprimento, largura e área desejada. Estes aspetos têm de cumprir os seguintes requisitos:

- Área: $A \geq 0.9 \cdot A_{\text{referência}}$
- Comprimento: $l \geq 0.95 \cdot l_{\text{referência}}$
- Largura: $a \geq 0.95 \cdot a_{\text{referência}}$

- *“Escape” e Sujidade na Cola*

Segundo a norma PV 2049, a cola não pode apresentar qualquer tipo de sujidade no momento da ligação, nem pode sujar a peça no momento de ligação devido ao transbordo de cola, decorrente do excesso da mesma.

- *Espessura da Cola Criada entre Chapas*

A espessura da cola, por a estar em conformidade com a norma PV 2049, não pode exceder nem ser menor que o valor de referência em 30%, ou seja:

- $d = d_{\text{referência}} \pm 0.3 \cdot d_{\text{referência}}$

- *Fraturas e Poros*

Relativamente a poros e fraturas, de acordo com a PV 2049, não poderão representar um valor de área e comprimento superiores aos indicados abaixo:

- Somatório das áreas porosas e com fraturas ≤ 0.3 a referência;
- Somatório dos comprimentos relativos a poros e fraturas $\leq l_{\text{referência}}$.

3.4.4 Planeamento de Testes da Qualidade

O parâmetro referente ao “planeamento de testes da qualidade”, verifica a eficiência e eficácia do planeamento existente.

Esta abordagem pretende compreender se avaliação desenvolvida através de testes destrutivos e não destrutivo, permite obter uma informação representativa da qualidade da

produção efetuada, assim como a verificação, quanto à utilização de tempo e recursos exclusivamente necessários no processo.

A frequência e os testes da qualidade, devem ser acordado entre cliente e fornecedor (PV 6702, 2010).

3.4.5 Conformidade Contratual de Testes da Qualidade a Aplicar

Este parâmetro remete para a necessidade de cumprir com o contrato acordado entre cliente e fornecedor, quanto aos testes da qualidade que são aplicados.

Independentemente da eficácia e eficiência dos testes da qualidade aplicados, prevalece a necessidade de cumprir o acordado. Caso ocorra a necessidade de proceder de forma diferente ao estipulado no contrato, deve-se solicitar a confirmação por parte do cliente para proceder com a alteração (PV 6702, 2010).

3.5 Implementação de Análise Modal de Falhas e Efeitos

As normas abrangidas foram a base de desenvolvimento da análise de *gaps*. Os *gaps* identificados serão os modos de falha utilizados na estrutura da Análise Modal de Falhas e Efeitos, tendo sido dividido pela análise de diferentes processos e dos resultados obtidos no produto acabado:

- **Testes**
 - Teste de *Tear down*
 - Teste de Metalografia
 - Teste de Tração e Cisalhamento
 - Teste de Torque
 - Qualidade da Soldadura
 - Qualidade da Ligação de Cola
- **Processos**
 - Processo de Soldadura
 - Planeamento de Testes da Qualidade
- **Contratos**
 - Conformidade Contratual

A análise de riscos desenvolvida apenas teve em conta os *gaps* identificados. Parâmetros que sejam potenciais modos de falha, mas cuja ocorrência não tenha sido identificada não serão abordados na análise de riscos.

O *FMEA* terá como objetivo avaliar os *gaps* que estão atualmente presentes na produção e processos inerentes aos três produtos analisados, bem como, desenvolver uma análise de riscos que permita corrigir as não conformidades e desperdícios presentes no processo de produção.

3.5.1 Fluxos do Processo

No Fluxograma da figura 3.30 encontram-se representados os processos relativos à produção da empresa, nomeadamente nas peças *Dichtkanal*, *Tunnel* e *Radhaus*.

Por forma a compreender-se melhor as atividades representadas no fluxograma, irá ser feita uma breve descrição das mesmas.

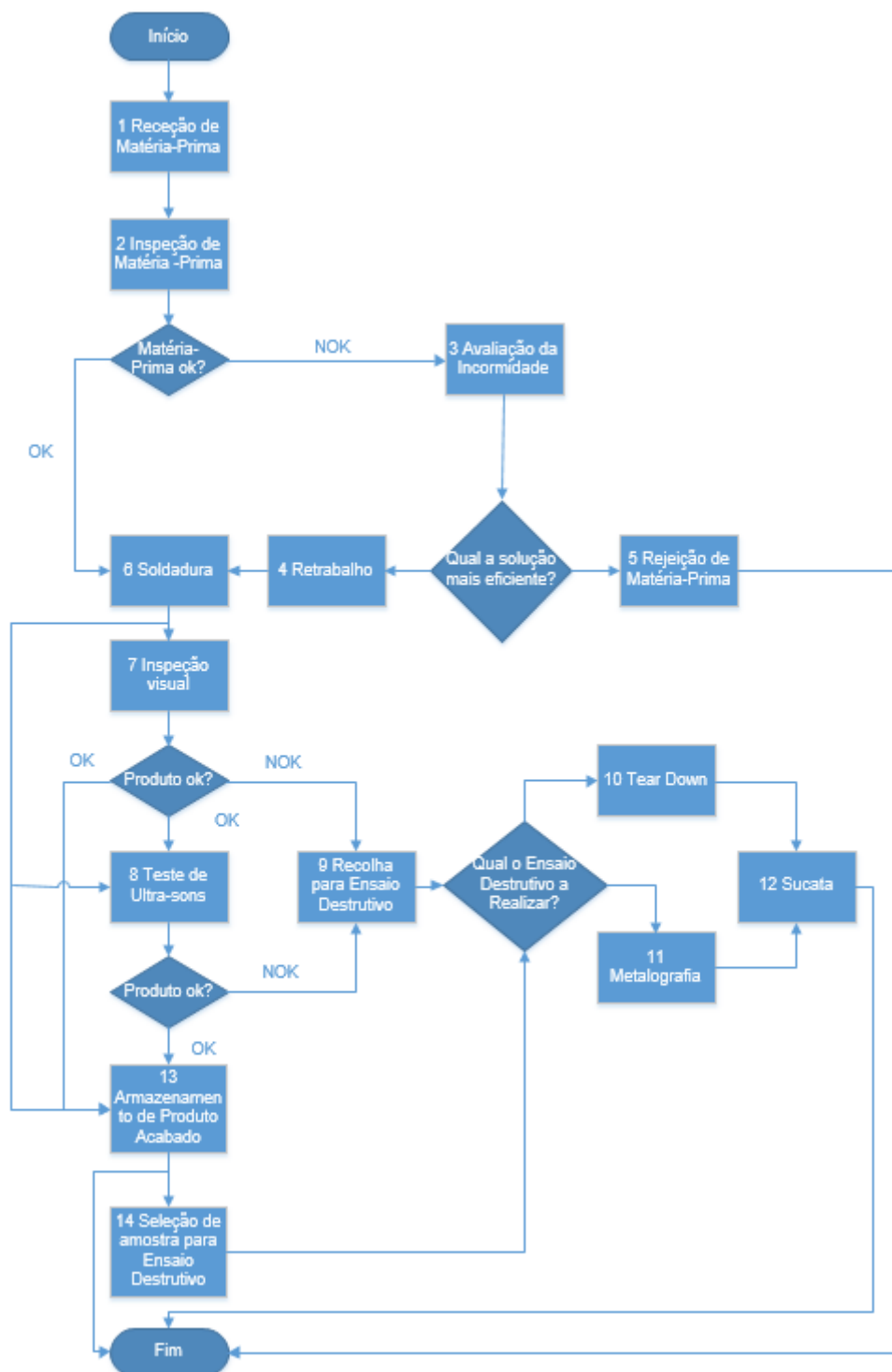


Figura 3.30 - Fluxograma simplificado do processo da qualidade na Shnellecte

1. Receção da Matéria-prima: Processo de receção da matéria-prima utilizada, que posteriormente será soldada.
2. Inspeção da Matéria-prima: Avaliação da conformidade da matéria-prima, através de um plano de controlo, por forma a excluir previamente peças não conformes do processo de soldadura.
3. Avaliação da Inconformidade: Dependendo da inconformidade encontrada e perante negociação com fornecedor, proceder-se-á ao aproveitamento ou não da matéria-prima
4. Retrabalho: Processo de transformação da peça não conforme em peça conforme.
5. Rejeição da Matéria-prima: Toda a matéria-prima não conforme que não possa ser retrabalhada, ou simplesmente não seja vantajoso fazê-lo, será rejeitada, não sendo utilizada para efeitos de produção.
6. Soldadura: Processo de valor acrescentado realizado na empresa podendo ser de vários tipos.
7. Inspeção Visual: Inspeção realizada na linha de produção a uma amostra das peças
8. Teste de Ultra-sons: Teste não destrutivo realizado a uma amostra das peças produzidas
9. Recolha para Ensaio Destrutivo: Todas as peças identificadas como não conformes após inspeção visual e/ou teste de ultra-sons, será recolhida para ensaio destrutivo, por forma, a realizar uma análise mais detalhada.
10. *Tear down*: Ensaio destrutivo que permite visualizar a qualidade da soldadura a “olho nu”
11. Metalografia: Análise que exige a destruição da peça permitindo visualizar a qualidade da soldadura de forma microscópica.

12. Sucata: após os processos destrutivos, as peças serão depositadas na sucata.
13. Armazenamento do Produto Acabado: Todas as peças avaliadas e conformes, bem como as peças não avaliadas serão armazenadas para posteriormente serem expedidas.
14. Seleção de Amostra para Ensaio Destrutivo: Independentemente da análise realizada na linha de produção, algumas peças serão avaliadas segundo ensaios destrutivos, por forma a cumprir com o planeamento anual desenvolvido no Departamento da Qualidade.

Capítulo 4 - Apresentação e Discussão de Resultados

4.1 Identificação de Gaps

A análise de *gaps* realizada teve como base o estudo de normas Vw, uma vez que são a base de referência para os requisitos de produção.

Os vários parâmetros abordados no capítulo 3, foram avaliados sempre que possível nos produtos em estudo. Devido à extensão do trabalho de identificação de *gaps*, apenas serão apresentados os pertencentes à peça Dichtkanal.

4.1.1 Produto - Dichtkanal

Nesta secção será realizada uma descrição de um dos três produtos analisados. A escolha das três peças para a análise de *gaps*, teve como fundamento a diversidade de características que apresentam, tais como: a presença de cola, pontos de soldadura em juntas de três chapas, soldadura por protuberâncias, entre outras, permitindo deste modo avaliar um maior número de processos.

Nas figuras 4.1 e 4.2 e tabelas 4.1 e 4.2 pode-se visualizar como exemplo, as características da peça Dichtkanal, tais como, as matérias primas que a constituem, a presença de cola, os diâmetros mínimos dos pontos de soldadura, espessuras das chapas, vista 3D e vista explosiva.

Dichtkanal:

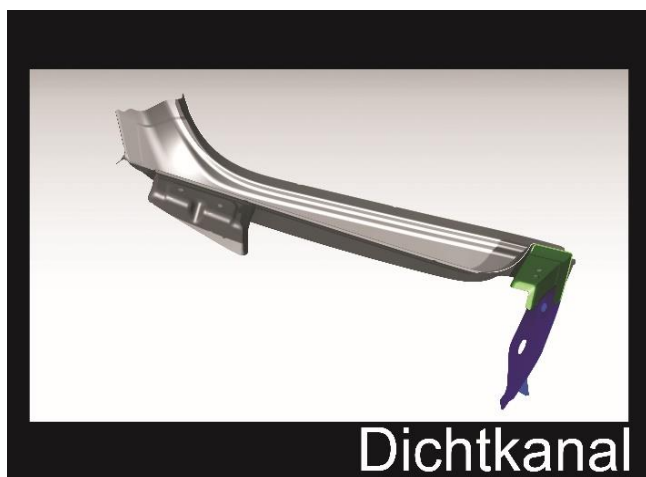


Figura 4.1 - Peça Dichtkanal

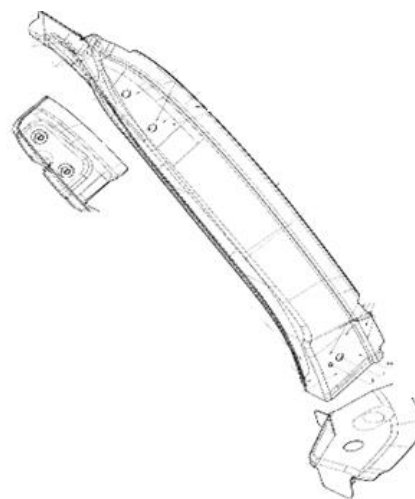


Figura 4.2 - Vista explosiva da peça dischtkanal

Posteriormente à identificação das características teóricas que cada uma das peças em estudo deve ter, é possível avaliar a conformidade da produção das mesmas. As peças em produção serão avaliadas, identificando as diferenças, fora da tolerância permitida, relativamente às características que deveriam ter.

Tabela 4.1 - Representação das características da peça *dichtkanal*

Junta de 2 chapas	Matéria-Prima		Pontos soldadura	dn min (mm)	dn max (mm)	dw min (mm)	dw max (mm)	pl/pu (mm)
A	7N0.810.401.A	7N0.809.643.A	1	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
A	7N0.810.401.A	7N0.809.643.A	2	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
A	7N0.810.401.A	7N0.809.643.A	3	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
A	7N0.810.401.A	7N0.809.643.A	4	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
A	7N0.810.401.A	7N0.809.643.A	5	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
ESPESSURA (mm)	1,5	0,8						
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	1	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	2	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	3	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	4	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	5	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	6	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
B	7N0.809.487.A	7N0.809.643.A	7	3,13	6,30	3,60	7,25	0,16
ESPESSURA (mm)	1,5	0,8						
C	7N0.810.401.A	7N0.813.393.A	1	2,93	6,03	3,37	6,93	0,14
C	7N0.810.401.A	7N0.813.393.A	2	2,93	6,03	3,37	6,93	0,14
C	7N0.810.401.A	7N0.813.393.A	3	2,93	6,03	3,37	6,93	0,14
C	7N0.810.401.A	7N0.813.393.A	4	2,93	6,03	3,37	6,93	0,14
ESPESSURA (mm)	1,5	0,7						

Tabela 4.2 - Descrição da cola na peça *Dichtkanal*

Cola				
Nome	Tipo	Volume	Peso	Área de Superfície
801.D.KF.0001	AMV167W10	0,18 cm ³	0,22 g	100 cm ²

4.1.2 Diâmetros de Pontos de Soldadura

Os diâmetros dos pontos de soldadura, podem ser avaliados através de testes não destrutivos e destrutivos.

Um dos testes não destrutivos, é o teste de ultra-sons, que permite conhecer a conformidade do *nugget* de soldadura “dn” sem destruir a peça. São também realizados testes destrutivos para avaliação da qualidade dos pontos de soldadura através das técnicas de *Tear down* e Metalografia, estas, permitem conhecer o diâmetro do ponto de soldadura “dw” e diâmetro do *nugget* do ponto de soldadura “dn”, respetivamente.

Nas tabelas 4.3 e 4.4, é possível verificar os resultados obtidos em testes de *Tear down* e Metalografia em cada uma das peças. Os resultados obtidos por ultra-sons não serão apresentados, uma vez que caso a peça demonstre estar não conforme, será sempre sujeita a uma segunda avaliação através de *Tear down*

Nas tabelas 4.3 e 4.4, encontra-se o estudo realizado aos diâmetros dos pontos de soldadura obtidos em *Tear down* e Metalografia. A tabela 4.3 é representativa dos resultados dimensionais obtidos, relativos aos diâmetros obtidos durante a análise de *gaps*.

As células “*nok*” (*not ok*) indicam os pontos de soldadura que se encontram com o diâmetro não conforme. As células “*ok*” identificam todos os pontos de soldadura que se encontram em conformidade. Deste modo conseguiu-se avaliar o estado dos *nuggets* de soldadura ao nível de diâmetro interno, externo e penetração.

Tabela 4.3 - Identificação de *gaps* no processo *tear down* da peça *dichtkanal*

Junta	<i>Tear down</i>			
	dn min (estimado) - 3,1mm		dn max (estimado) - 6,3 mm	
	dw min a,b - 3,6 mm	dw min c - 3,1 mm	dw max a,b - 7,25 mm	dw max c - 6,3 mm
A	ok	-	ok	-
Junta	<i>Tear down</i>			
	dn min (estimado) - 3,1 mm		dn max (estimado) - 6,3 mm	
	dw min a,b - 3,6 mm	dw min c - 3,1 mm	dw max a,b - 7,25 mm	dw max c - 6,3 mm
B	ok	-	ok	-
Junta	<i>Tear down</i>			
	dn min (estimado) - 3 mm		dn max (estimado) - 6 mm	
	dw min a,b - 3,37 mm	dw min c - 3 mm	dw max a,b - 6,93 mm	dw max c - 6 mm
C	ok	-	ok	-

Tabela 4.4 - Identificação de *gaps* no processo metalografia da peça *dichtkanal*

Junta	Metalografia			
	dn min - 3,1 mm	dn max - 6,3 mm	pu - 0,16 mm	pl - 0,16 mm
A	ok	nok	ok	ok
Junta	Metalografia			
	dn min - 3,1 mm	dn max - 6,3 mm	pu - 0,16 mm	pl - 0,16 mm
B	ok	ok	ok	nok
Junta	Metalografia			
	dn min - 3,03 mm	dn max - 6 mm	pu - 0,14 mm	pl - 0,14 mm
C	ok	ok	ok	ok

Apesar do diâmetro do ponto de soldadura (dw) encontrar-se em conformidade perante o teste de *Tear down*, é possível identificar *gaps* de alguns *nuggets* de soldadura ao nível da penetração e diâmetro de *nugget* através dos resultados obtidos no teste de metalografia. As imagens que se seguem referentes à figura 4.3 demonstram três exemplos de *nugget* de soldadura “ok” e “nok” do relatório de metalografia gerado.

- Ponto de Soldadura A – 0001 é relativo a um ponto de soldadura não conforme devido à dimensão do diâmetro do *nugget* de soldadura ser excessivamente comprido, não respeitando o diâmetro máximo.
- Ponto de Soldadura B-0001 corresponde a um ponto de soldadura conforme, tanto ao nível do diâmetro como ao nível da penetração.
- Ponto de Soldadura B-0002 corresponde a um ponto com baixa penetração na chapa inferior, estando em conformidade relativamente ao diâmetro do ponto de soldadura.

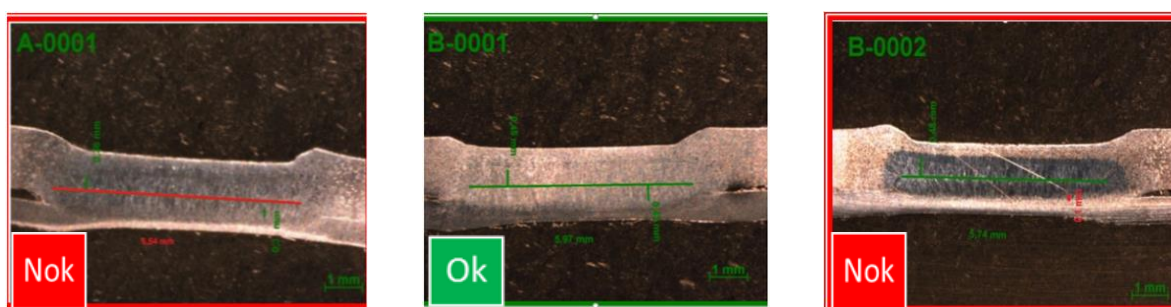


Figura 4.3 - exemplo de teste metalográfico ok e nok

4.1.3 Parâmetros Externos da Peça e Processo de Soldadura por Pontos

Nas tabelas seguintes, encontra-se a análise de *gaps* referente à conformidade do processo e pontos de soldadura por resistência, avaliando exclusivamente as suas características externas.

Neste tópico a análise de *gaps* desenvolveu-se através de inspeção visual. Avaliou-se a existência de fissuras, pontos de soldadura derretidos, saliências dos pontos de soldadura, posição dos pontos de soldadura na peça dentro da margem dos 5 mm permitidos, distância “VE” “g” e “k” dentro da conformidade, utilização de elétrodos adequados, sequência dos pontos de soldadura dados pelo operador, perpendicularidade das chapas soldadas no momento da soldadura, distâncias “vn” “e” “vn” e também passagens de corrente “Shunts”.

Tabela 4.5 - Identificação de gaps relativos a aspetos internos

Produto Acabado	Fissura	Ponto derretido	Saliências no ponto	Posição do ponto +/- 5mm	VE
7N0.809.641.D	ok	ok	ok	nok (B1; B2; B3)	nok (B4; B5; B5; B7)

Tabela 4.6 - Identificação de gaps relativos ao processo de soldadura de pontos

Produto Acabado	g	k	Eléktodos adequados	Sequência	Perp. da chapa	vn	vn'	Shunts/Cc
7N0.809.641.D	ok	ok	ok	Gap (junta B)	ok	Gap (junta B; A4; A5)	ok	Gap (B3; B1)

Como visualizado na tabela 4.5 e 4.6, a peça *Dichtkanal* apresenta gaps em cinco aspetos:

- Pontos de soldadura fora de posição
- Pontos de soldadura, excessivamente perto da extremidade “VE”
- *Nugget* de soldadura, excessivamente perto da extremidade “vn”
- Sequência errada na ordem em que os pontos são soldados
- Passagens de corrente durante a soldadura da peça

4.1.4 Ligação por Cola

Nas tabelas 4.7 e 4.8, verifica-se a análise de gaps desenvolvida na junta ligada por cola, da peça *Dischtkanal*. O estudo está dividido entre parâmetros externos (primeira tabela) e internos (segunda tabela).

Na primeira tabela dividiu-se a análise entre parâmetros que ocorrem antes de se juntar as chapas e após juntar-se as chapas. Avaliou-se inicialmente a quantidade de cola aplicada, este parâmetro tem sido um problema constante da empresa devido ao processo implementado. A aplicação de cola consiste num método manual em que o fluxo varia com o carregar de um pedal por parte do operador, existindo por isso uma elevada margem de erro. Outros parâmetros presentes nesta tabela são a posição, geometria e local da cola também antes de juntar as chapas. Posteriormente à soldadura das chapas, foi possível avaliar os parâmetros relativos ao escape de cola, bem como a sujidade na peça.

Após a primeira análise desenvolveu-se um teste de metalografia à junta com cola. Para que tal procedimento fosse possível, foi necessário realizar a cura da cola através da colocação da peça num forno industrial. Este processo irá permitir o endurecimento da cola e posteriormente o corte da peça e respetiva análise.

No teste de Metalografia verificou-se total conformidade dos parâmetros, exceto no local de aplicação. Após juntar as chapas, a cola espalhou no local errado da peça devido a ter sido aplicada erradamente como verificado na tabela 4.5 e figura 4.4.



Figura 4.4 - Peça dichtkanal com aplicação de cola

Tabela 4.7 - Identificação de gaps na aplicação de cola da peça dichtkanal

Produtos Acabados	Antes de juntar chapas		Após juntar chapas	
	Quantidade de cola de acordo com desenho	Posição, geometria, local	"Escape" de cola	Sujidade provocada pela cola
7N0.809.641.D	nok	nok	ok	ok

Tabela 4.8 - Identificação de gaps na aplicação de cola da peça dichtkanal

Produtos Acabados	Cola Presente	I	A	a	Posição, localização e geometria	Fraturas e Poros
7N0.809.641.D	ok	ok	ok	ok	nok	ok

4.1.5 Planeamento de Testes da Qualidade

Os gaps referentes aos testes da qualidade consistem no planeamento da qualidade em vigor na empresa. Atualmente o plano de testes da qualidade é elaborado tendo em conta o histórico de produtos não conformes, tempo e recursos disponíveis. Em função destas variáveis é elaborado um plano anual que visa realizar *Tear down* e metalografia a cada uma das peças, o maior número de vezes possíveis. Para além dos testes destrutivos também são realizados constantemente testes de Ultra-sons ao longo dos vários turnos de trabalho.

A atual metodologia de desenvolvimento do plano da qualidade, ignora fundamentos estatísticos tais como, garantir que a amostra é representativa da população em estudo ou a utilização do menor número possível de amostras para um determinado nível de confiança que seja previamente estabelecido como valor de referência.

Na tabela 4.9 é possível visualizar a frequência dos testes realizados e plano anual em vigor de *Tear down* e Metalografia.

Nesta análise destaca-se o baixo nível de frequência relativo aos Testes de Metalografia. É avaliada uma peça de dois em dois anos.

Tabela 4.9 - Planeamento de testes da qualidade anual

Produto Acabado	Produção anual (unidades)	<i>Tear down</i> (unidades)	Metalografia (unidades)	Ultra-sons (unidades)	Torque (unidades)
7N0.809.641.D	81939	11	1	1366	1034
1KD.801.775.D	20680	11	0	345	-
7N0.809.851	81700	11	1	1362	-

4.1.6 Relação Empresa Cliente

No que diz respeito aos contratos elaborados com o cliente Volkswagen, identificou-se um *gap* relativo ao baixo rigor contratual exercido pela empresa Schnellecke, implicando em custos e ineficiência.

A empresa não tem possibilidade de exercer melhorias relativas a processos ou ao planeamento. A título de exemplo, é possível identificar que o teste de metalografia realizado não possui uma amostra representativa da população, no entanto, gera elevados custos à empresa. Existe um número elevado de diferentes peças sujeitas a este teste, mesmo estando cada modelo sujeito a um teste de dois em dois anos. De destacar também o facto que o teste de uma peça pode durar várias semanas, o que encarece extremamente um teste, do qual se retira pouco ou nenhum retorno.

A Schnellecke não tem margem negocial para remover o teste de metalografia do planeamento, mesmo que comprove que mantém o mesmo nível de qualidade.

Por vezes, ocorre a necessidade de adaptar o plano de testes da qualidade, mesmo que este tenha que entrar em conflito com o que está previamente acordado com o cliente.

Duma forma geral, alguns aspetos relativos à qualidade não são suficientemente bem explicitados, uma vez nem sempre se conhece bem o que foi acordado, sendo que qualquer questão levantada ao cliente, poderá incorrer num aumento de custos para a empresa e por

outro lado o que está explicitamente acordado, não apresenta margem de adaptação ao longo da produção, limitando os princípios da melhoria contínua.

4.2 Análise Modal de Falhas e Efeitos

Neste contexto, desenvolveu-se uma análise modal de falhas e efeitos aos processos e produtos da empresa integrada na análise de *gaps*.

Na elaboração do *FMEA*, definiu-se *gap* como um aspeto suscetível a melhorias, algo referente a um processo ou produto suscetível de ser alterado de modo a melhorar a sua eficiência, tendo por base uma sugestão normativa. Por outro lado, uma falha será um aspeto que está a ocorrer em erro e necessita de ser corrigido, de modo, a não entrar em inconformidade com normas, requisitos da empresa e/ou requisitos de clientes.

A análise divide-se em nove diferentes áreas de modos de falhas: *Tear down*, Metalografia, Teste de Tração, Torque, Conformidade de Soldadura de Pontos, Conformidade do Processo de Soldadura de Pontos, Processo de Colagem e Processos Contratuais.

Os efeitos e causas potenciais obtidas no *FMEA*, foram o resultado de um trabalho em equipa, com o recurso ao *Brainstorming*, permitindo assim, obter opiniões e pontos de vista diferentes consoante o departamento de cada elemento da equipa que participou no estudo.

4.2.1 Identificação das Causas Potenciais

Com o objetivo de elaborar planos de ação e identificar as causas potenciais dos modos de falha e *gaps*, realizou-se o *brainstorming* para cada modo falha ou *gap*, identificou-se um conjunto de causas com intuito de posteriormente concluir qual a causa primária. Com o fim de conseguir uma melhor perspetiva das causas, aplicou-se a ferramenta de árvore de causas potenciais.

Nesta secção será feita a representação de alguns exemplos de árvores de falhas desenvolvidas, referentes às figuras 4.5, 4.6 e 4.7, que permitiram fazer uma avaliação dos vários modos de falha e *gaps* encontrados, visando identificar as causas primárias.

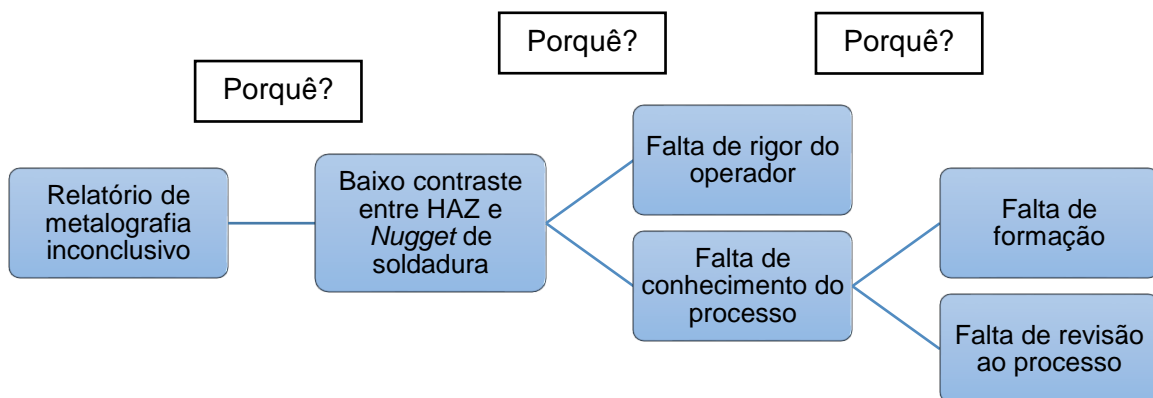


Figura 4.5 - Diagrama de árvore, relatório de metalografia inconclusivo

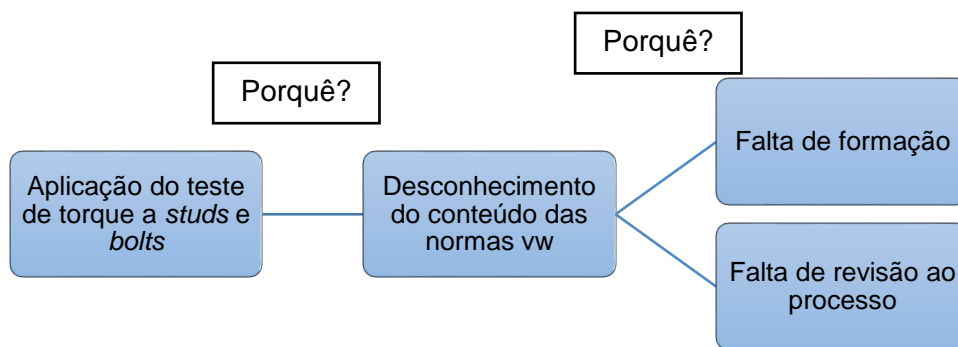


Figura 4.6 - Diagrama de árvore, aplicação de teste de torque a studs e bolts

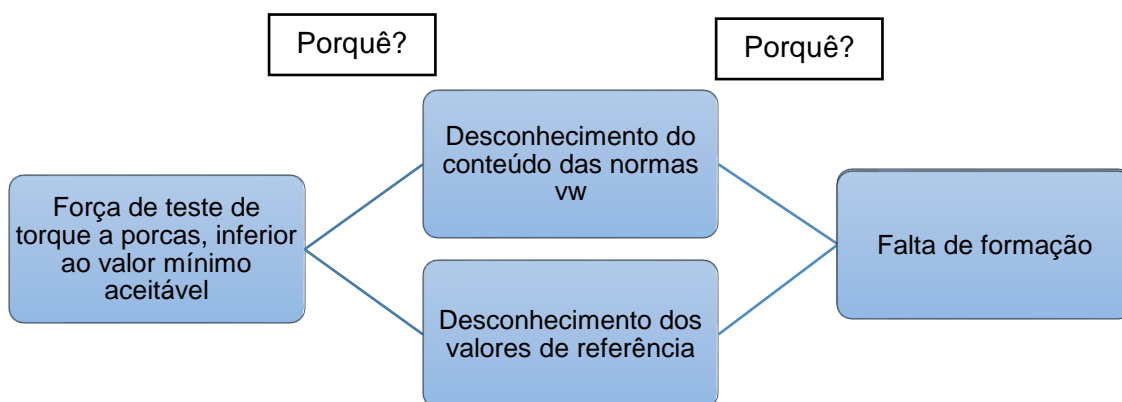


Figura 4.7 - Diagrama de árvore, força de teste de torque a porcas, inferior ao valor mínimo aceitável

Nas tabelas 4.10 até 4.18 estão identificadas as causas primárias, bem como, os respectivos efeitos de cada modo de falha ou gap. As tabelas estão divididas pelas áreas de

estudo Tear down, Metalografia, Teste de Tração, Torque, Conformidade de Soldadura de Pontos, Conformidade do Processo de Soldadura de Pontos, Processo de Colagem e Processos Contratuais, estando representado para cada modo de falha o requisito exigido.

Tabela 4.10 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de tear down

Processo de Tear Down			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
Especificar no relatório de <i>Tear down</i> o valor de referência de "dn" que deve ser tido em conta. O valor de referência de "dn" pode ser estimado através do valor de "dw" obtido em <i>Tear down</i> , conhecendo assim, a conformidade interna do ponto. / Vw 01105 - 7.2.2	1.1 O valor do diâmetro de <i>nugget</i> "dn" nunca é estimado através do diâmetro do ponto "dw", obtido no <i>Tear down</i> .	Dimensão de amostras superior em processos de Metalografia.	- Desconhecimento do conteúdo da norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.
		Desperdício de informação	-Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.
Deve ser retirado o máximo de informação das peças usadas em ensaios destrutivos. / Vw 01103 - 6	1.2 No processo de <i>Tear down</i> , não é avaliada a soldadura das protuberâncias de <i>Studs</i> . (ex: 1KD.801.775.D)	Desconhecimento da qualidade das protuberâncias	- Falta de informação; - Inércia / resistência à mudança. - Falta de revisão ao processo
		Risco de peça nok	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.
dw=1.15*dn dn= 0,65 d (diâmetro da Protuberância). / Vw 01103 - 6	1.3 No processo de <i>Tear down</i> , o valor de referência para o diâmetro das protuberâncias, está mal definido (ex: 7N0.809.851)	Falso Positivo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de informação; - Falta de revisão ao processo
		Falso Negativo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de informação; - Falta de revisão ao processo

Tabela 4.11 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de metalografia

Processo de Metalografia			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
Identificação feita de acordo com o estipulado pela norma volkswagen. / Vw 01105-1 - 7.2.1; Vw 01105-1 - Apêndice B	2.1 Marcação incorreta do diâmetro e penetração do <i>nugget</i> . ("dn" e "p")	Relatório Inconclusivo	-Falta de Formação -Imprecisão do Operador
		Falso Positivo	-Falta de Formação -Imprecisão do Operador
		Falso Negativo	-Falta de Formação -Imprecisão do Operador
Necessidade em conhecer a dimensão do diâmetro e penetração do <i>nugget</i> de soldadura na chapa. / PV 6727 - 3.2	2.2 Especificações das soldaduras por protuberâncias, não são avaliadas no processo de metalografia	Desconhecimento da qualidade da soldadura	- Falta de revisão ao processo - Inércia / resistência à mudança.
Nível de contraste deve permitir uma boa visualização entre o <i>nugget</i> de soldadura e respetiva chapa / Vw 01105-1 - 7.2.1; PV 6702 - 4.2.3	2.3 Relatório de metalografia Inconclusivo	Relatório sem informação relevante	- Proporção errada de agente cáustico - Falta de formação - Falta de revisão ao processo - Falta de rigor do operador - Baixo nível de contraste entre a o <i>nugget</i> e a HAZ do ponto de soldadura.
		Desperdício de recursos e tempo	- Proporção errada de agente cáustico - Falta de formação - Baixo nível de contraste entre a o <i>nugget</i> e a HAZ do ponto de soldadura.
O agente Cáustico utilizado deve permitir uma reação	2.4 Aplicação de agente cáustico no processo de	Relatório Inconclusivo	- Falta de Formação

Processo de Metalografia			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
química, com vista a tornar o <i>nugget</i> visível. / PV 6702 - 4.2.3	metalografia, com proporções erradas. (referência: 2% ácido + 98% álcool)		
Identificação deve ser feita de acordo com o estipulado pela norma volkswagen: Porosidade $\leq 8\%$ Não pode atingir o plano da junta Somatório do diâmetro dos poros $\leq 05 \cdot d_n$. / Vw 01105-1 - Tabela A.3	2.5 Referência usada para porosidade nok/ok, diverge com a norma Vw 01105-1.	Falso Positivo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação
		Falso Negativo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação
Necessidade em conhecer o nível de qualidade da colagem, bem como, a quantidade aplicada através da espessura. / PV 2049	2.6 Especificações das ligações por cola não são avaliadas no processo de metalografia.	Desconhecimento de qualidade da junta: - Espessura de cola - Porosidade	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação

Tabela 4.12 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de tração e cisalhamento

Processo de Tração e Cisalhamento			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
O valor de Força de tração mínimo suportado pela junta, deve ser conhecido, por	3.1 Não é realizado teste de tração e cisalhamento	- Desconhecimento da resistência da junta de soldadura a cargas de força	- Custos da implementação de um novo processo - Utilização técnicas alternativas

Processo de Tração e Cisalhamento			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
forma a verificar a sua conformidade. / PV 2049	às juntas de soldadura.		
O valor de Força de tração mínimo suportado pelos <i>Studs</i> , <i>Bolts</i> e Porcas deve ser conhecido, por forma a verificar a sua conformidade. / Vw 60560 - 4.2	3.2 Não é realizado teste de tração e cisalhamento aos <i>Bolts</i> , <i>Studs</i> e Porcas.	- Desconhecimento da resistência das protuberâncias a cargas de força	- Custos da implementação de um novo processo
O valor de Força de tração mínimo suportado pela junta deve ser conhecido, por forma a verificar a sua conformidade. / PV 2049	3.3 Não é realizado o teste de tração e cisalhamento às juntas ligadas por cola.	- Desconhecimento da resistência da Cola a cargas de força	- Custos da implementação de um novo processo

Tabela 4.13 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de torque

Processo de Torque			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
O teste de torque, aplica-se única e exclusivamente a porcas soldadas. / Vw 60560 - 4.2	4.1 Aplicação de Torque, como teste de qualidade não destrutivo, a <i>Studs</i> e <i>Bolts</i>	Teste inapropriado	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.
		Gasto de recursos e tempo, sem retorno	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.
		Tomada de decisões com base em teste inconclusivo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação;

Processo de Torque			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha - Inércia / resistência à mudança.
O valor de Torque a utilizar deve estar em conformidade com o valor definido pela norma volkswagen, em função da espessura da chapa e da porca. / Vw 60560 - 4.2	4.2 Teste de Torque aplicado às porcas soldadas com valor inferior ao mínimo necessário	Falso positivo	- Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.

Tabela 4.14 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de soldadura de pontos

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
O diâmetro do ponto de soldadura dw, tem de ter o valor mínimo de $dw = K \cdot 3,5 \sqrt{t_1}$, sendo t1 a espessura da chapa mais fina, K =1,15 ou K=1, consoante as características do ponto após <i>Tear down</i> . / Vw 01105 - 7.2.1	5.1 Diâmetro do ponto de soldadura (dw), menor que o valor mínimo especificado.	Peça nok	<ul style="list-style-type: none"> - Passagem de Corrente - Despressurização de ar nos cilindros. - Desgaste da área de superfície do eletrodo - Falha na sonda que regula a intensidade de corrente da soldadura - Falha no caudal de água de arrefecimento do sistema de soldadura - Produção em função de graus de abertura de díodos em vez de variação de corrente elétrica - Tempo de ciclo de retenção para arrefecimento dos pontos de soldadura, reduzido - Excesso de revestimento de zinco na chapa - Gap elevado entre chapas soldadas na zona de atribuição do ponto de soldadura - Matéria-prima deformada - Tempos de ciclo desajustados às variáveis da soldadura - Parâmetros de soldadura desajustados - Folga no JIG

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
<p>O diâmetro do ponto de soldadura d_w, tem de ter o valor máximo de $d_w = K \cdot 6,5 \sqrt{0,8 \cdot t_1 + 0,2 \cdot t_2}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina e t_2 a espessura da chapa mais grossa, $K = 1,15$ ou $K = 1$, consoante as características do ponto após <i>Tear down</i>. / Vw 01105 - 5.2.5.6</p>	<p>5.2 Diâmetro do ponto de soldadura (d_w), maior que o valor máximo especificado.</p>	<p>Peça nok</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Passagem de Corrente - Despressurização do ar nos cilindros - Desgaste da área de superfície do eletrodo - Falha na sonda que regula a intensidade de corrente da soldadura - Falha no caudal de água de arrefecimento do sistema de soldadura - Produção em função de graus de abertura de díodos em vez de variação de corrente elétrica - Tempo de ciclo de retenção para arrefecimento dos pontos de soldadura reduzido - Excesso de revestimento de zinco na chapa - Gap elevado entre chapas soldadas na zona de atribuição do ponto de soldadura - Matéria-prima deformada - Tempos de ciclo desajustados às variáveis da soldadura - Parâmetros de soldadura desajustados
<p>O <i>nugget</i> do ponto de soldadura tem de penetrar na chapa no valor de: 0,2 mm para chapas se espessura ≥ 1mm; 0,2mm*t para chapas < 1mm, sendo "t" a espessura da chapa. / Vw 01105-1 - 7.2.3</p>	<p>5.3 Pontos de soldadura fora de conformidade, com pouca penetração na chapa soldada.</p>	<p>Peça nok</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Passagem de Corrente - Despressurização do ar nos cilindros - Desgaste da área de superfície do eletrodo - Falha na sonda que regula a intensidade de corrente da soldadura - Falha no caudal de água de arrefecimento do sistema de soldadura - Produção em função de graus de abertura de díodos em vez de variação de corrente elétrica - Tempo de ciclo de retenção para arrefecimento dos pontos de soldadura, reduzido - Excesso de revestimento de zinco na chapa - Gap elevado entre chapas soldadas na zona de atribuição

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
			do ponto de soldadura <ul style="list-style-type: none"> - Matéria-prima deformada - Tempos de ciclo desajustados às variáveis da soldadura - Parâmetros de soldadura desajustados - Folga no <i>JIG</i>
O diâmetro do <i>nugget</i> ponto de soldadura d_n , tem de ter o valor mínimo de $d_n = 3,5 \sqrt{t_1}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina. / Vw 01105 - 7.2.1	5.4 Diâmetro do ponto (d_n), inferior ao valor mínimo estipulado.	Peça nok	<ul style="list-style-type: none"> - Passagem de Corrente - Despressurização do ar nos cilindros - Desgaste da área de superfície do eletrodo - Falha na sonda que regula a intensidade de corrente da soldadura - Falha no caudal de água de arrefecimento do sistema de soldadura - Produção em função de graus de abertura de díodos em vez de variação de corrente elétrica - Tempo de ciclo de retenção para arrefecimento dos pontos de soldadura, reduzido - Excesso de revestimento de zinco na chapa - <i>Gap</i> elevado entre chapas soldadas na zona de atribuição do ponto de soldadura - Matéria-prima deformada - Tempos de ciclo desajustados às variáveis da soldadura - Parâmetros de soldadura desajustados - Folga no <i>JIG</i>

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
<p>O diâmetro do <i>nugget</i> ponto de soldadura d_n, tem que ter o valor mínimo de $d_n = 6,5\sqrt{(0,8 \cdot t_1 + 0,2 \cdot t_2)}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina e t_2 a espessura da chapa mais grossa. / Vw 01105 - 5.2.5.6</p>	<p>5.5 Diâmetro do ponto (d_n), superior ao valor máximo estipulado.</p>	<p>Peça nok</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Passagem de Corrente - Despressurização do ar nos cilindros - Desgaste da área de superfície do eletrodo - Falha na sonda que regula a intensidade de corrente da soldadura - Falha no caudal de água de arrefecimento do sistema de soldadura - Produção em função de graus de abertura de díodos em vez de variação de corrente elétrica - Tempo de ciclo de retenção para arrefecimento dos pontos de soldadura, reduzido - Excesso de revestimento de zinco na chapa - Gap elevado entre chapas soldadas na zona de atribuição do ponto de soldadura - Matéria-prima deformada - Tempos de ciclo desajustados às variáveis da soldadura - Parâmetros de soldadura desajustados - Folga no JIG

Tabela 4.15 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de soldadura

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
<p>Os pontos soldados numa junta devem seguir uma sequência, tal como referido pela norma, por forma a evitar deformação da chapa. / Vw 01105-1 - 5.3</p>	<p>6.1 Sequência errada na soldadura de pontos.</p>	<p>Peça nok por deformação da chapa</p>	<p>- Falta de formação</p>

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
Distância dos pontos soldados à extremidade "vn">1.5 mm. / Vw 01105-1 - 5.2.3	6.2 Distância mínima dos pontos de soldadura às extremidades/edge da peça fora de conformidade.	Peça nok	- Desgaste da guia
			- Ausência de manutenção preventiva
		Ponto fora da peça	- Desgaste da guia
			- Ausência de manutenção preventiva
A localização dos pontos deve estar de acordo com desenho técnico da peça. / Vw 01105-1 - Tabela A.2 - 06	6.3 Localização dos pontos soldados, diferente da localização especificada no desenho técnico.	Peça nok	- Falta de revisão do processo
			- Erro do operador
			- Falta de Guia
			-Desconhecimento da norma Vw
		Redução de funcionalidade dos pontos	- Falta de revisão do processo
			- Erro do operador
			- Falta de Guia
			- Falta de conhecimento da norma Vw

Processo de Soldadura de Pontos			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
		Junta com menor resistência	- Falta de revisão do processo
			- Erro do operador
			- Falta de Guia
			- Falta de conhecimento da norma Vw
			- Erro do operador
		Ponto de pequeno diâmetro	- Eléktodos inapropriados
			- Erro do operador

Tabela 4.16 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de aplicação de cola

Processo de Ligação por Cola			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
A cola tem de ser aplicada única e exclusivamente na região da peça definida através do desenho técnico. / PV2049 - 3.1.1	7.1 Não correspondência entre a área teórica de aplicação da cola, com a zona real onde é aplicada.	Peça nok	- Desenho pouco perceptível - Ausência de software para ficheiros CAD - Erro do operador
		Desperdício de Cola	- Desenho pouco perceptível - Ausência de software para ficheiros CAD - Erro do operador
		Falha de funcional da peça	- Desenho pouco perceptível - Ausência de software para leitura de ficheiros

Processo de Ligação por Cola			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
Quantidade de cola aplicada, não pode ser superior ao estipulado no contrato com o cliente. / Vw PV 2049	7.2 Falta de precisão na quantidade de cola aplicada.		CAD - Erro do operador
		Peça nok	- Erro do operador
		Desperdício de Cola	- Erro do operador
		Falha de funcional da peça	- Erro do operador

Tabela 4.17 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de planejamento de testes da qualidade

Processo de Planejamento de Testes da Qualidade			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
Dimensão do tamanho de uma amostra de população finita representativa da população. / Levin (1987)	8.1 Dimensão do número amostras estipuladas para a realização de testes da qualidade (destrutivos e não destrutivos) sem fundamento estatístico.	- Amostra não representativa da população	- Falta de formação - Inércia / resistência à mudança.

Tabela 4.18 - Efeitos, causas e modos de falha do processo de cumprimento contratual

Processo de Cumprimento Contratual			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
A empresa deve estipular com	9.1 Falta de exatidão no		- Falta de experiência e/ou falta de capacidade

Processo de Cumprimento Contratual			
Requisitos / Fonte	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha
preciosismo, quais os deveres e direitos aquando da celebração de um contrato, podendo assim, conhecer a sua "margem de manobra" ao longo de um projeto. / PV6702 - 2	contrato fornecedor/cliente, sobre quais os testes da qualidade a aplicar.	- Perda de margem negocial com o cliente	negocial - Falta de sinergia entre os diferentes departamentos da empresa
Não realizar alterações ao processo estipulado pelo cliente, sem que seja previamente acordado por ambas as partes. / PV6702 - 2	9.2 Incumprimento do contrato estabelecido fornecedor/cliente relativo aos testes da qualidade a aplicar.	Má avaliação das peças	Desconhecimento dos parâmetros estipulados no contrato
		Perda de cliente	Desconhecimento dos parâmetros estipulados no contrato

4.2.2 Avaliação do Risco

Nesta secção será apresentada a avaliação, bem como, a respetiva priorização dos modos de falhas. Posteriormente, será possível compreender quais os modos de falha e *gaps* mais prioritários de atuação.

Para conseguir elaborar uma priorização dos modos de falhas, foram utilizados os parâmetros de gravidade, ocorrência e deteção, tendo em conta os índices de Liu e Liu (2013). Em cada parâmetro será atribuído um valor entre 1 e 10, sendo a classificação obtida pela ordenação do NPR (número de prioridade de risco), este valor é obtido pelo produto dos três parâmetros.

Na tabela 4.19 serão apresentados os valores de ocorrência, gravidade e deteção dos vários modos de falha, *gaps* e respetivos valores de NPR.

Tabela 4.19 - Avaliação de risco NPR

Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Processo Atual			N.P.R.
			Gravidade	Ocorrência	Deteção	
1.1 <i>Tear down</i>	O valor do diâmetro de <i>nugget</i> "dn" nunca é estimado através do diâmetro do ponto "dw", obtido no <i>Tear down</i> .	Dimensão de amostras superior em processos de Metalografia.	2	10	2	40
		Desperdício de informação	2	10	2	40
1.2 <i>Tear down</i>	No processo de <i>Tear down</i> , não é avaliada a soldadura das protuberâncias de <i>Studs</i> . (ex: 1KD.801.775.D)	Desconhecimento da qualidade das protuberâncias	7	10	2	140
		Risco de peça nok	8	10	2	160
1.3 <i>Tear down</i>	No processo de <i>Tear down</i> , o valor de referência para o diâmetro das protuberâncias, está mal definido (ex: 7N0.809.851)	Falso Positivo	9	10	3	270
		Falso Negativo	7	10	3	210
2.1 Metalografia	Marcação incorreta do diâmetro e penetração do <i>nugget</i> . ("dn" e "p")	Relatório Inconclusivo	7	8	4	224
		Falso Positivo	9	8	4	288
		Falso Negativo	8	8	4	256
2.2 Metalografia	Especificações das soldaduras por protuberâncias, não são avaliadas no processo de metalografia	Desconhecimento da qualidade da soldadura	7	10	2	140
2.3 Metalografia	Relatório de metalografia inconclusivo.	Relatório inconclusivo	8	3	5	120
		Desperdício de recursos e tempo	7	3	5	105
2.4 Metalografia	Aplicação de agente cáustico no processo de metalografia, com proporções erradas. (referência: 2% ácido + 98% álcool)	Relatório Inconclusivo	5	10	2	100
2.5 Metalografia	Referência usada para porosidade	Falso Positivo	9	3	2	54

Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Processo Atual			N.P.R.
			Gravidade	Ocorrência	Deteção	
	nok/ok, diverge com a norma Vw 01105-1.	Falso Negativo	8	3	2	48
2.6 Metalografia	Especificações das ligações por cola não são avaliadas no processo de metalografia.	Desconhecimento da conformidade da junta de soldadura	4	10	1	40
3.1 Teste de Tração e Cisalhamento	Não é realizado teste de tração e cisalhamento às juntas de soldadura.	Desconhecimento da resistência da junta de soldadura a cargas de força	7	10	1	70
3.2 Teste de Tração e Cisalhamento	Não é realizado teste de tração e cisalhamento aos <i>Bolts</i> , <i>Studs</i> e <i>Porcas</i> .	Desconhecimento da resistência das protuberâncias a cargas de força	9	10	1	90
3.3 Teste de Tração e Cisalhamento	Não é realizado teste de tração e cisalhamento às juntas ligadas por cola.	Desconhecimento da resistência da Cola a cargas de força	8	10	1	80
4.1 Torque	Aplicação de Torque, como teste de qualidade não destrutivo, a <i>Studs</i> e <i>Bolts</i>	Teste inapropriado	7	10	1	70
		Gasto de recursos e tempo, sem retorno	8	10	1	80
		Tomada de decisões com base em teste inconclusivo	9	10	1	90
4.2 Torque	Teste de Torque aplicado às porcas soldadas com valor inferior ao mínimo necessário	Falso positivo	8	10	2	160

Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Processo Atual			N.P.R.
			Gravidade	Ocorrência	Deteção	
5.1 Soldadura de Pontos	O diâmetro do ponto de soldadura d_w , tem de ter o valor mínimo de $d_w = K \cdot 3,5 \sqrt{t_1}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina, $K = 1,15$ ou $K = 1$, consoante as características do ponto após <i>Tear down</i> . / Vw 01105 - 7.2.1	Diâmetro do ponto de soldadura (d_w), menor que o valor mínimo especificado.	8	3	3	72
5.2 Soldadura de Pontos	O diâmetro do ponto de soldadura d_w , tem de ter o valor máximo de $d_w = K \cdot 6,5 \sqrt{(0,8 \cdot t_1 + 0,2 \cdot t_2)}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina e t_2 a espessura da chapa mais grossa, $K = 1,15$ ou $K = 1$, consoante as características do ponto após <i>Tear down</i> . / Vw 01105 - 5.2.5.6	Diâmetro do ponto de soldadura (d_w), maior que o valor máximo especificado.	7	3	3	63
5.4 Soldadura de Pontos	O diâmetro de <i>nugget</i> do ponto de soldadura d_n , tem de ter o valor mínimo de $d_n = 3,5 \sqrt{t_1}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina. / Vw 01105 - 7.2.1	Diâmetro do ponto (d_n), inferior ao valor mínimo estipulado.	9	3	3	81
5.5 Soldadura de Pontos	O diâmetro do <i>nugget</i> ponto de soldadura d_n , tem que ter o valor mínimo de $d_n = 6,5 \sqrt{(0,8 \cdot t_1 + 0,2 \cdot t_2)}$, sendo t_1 a espessura da chapa mais fina e t_2 a espessura da chapa mais grossa. / Vw 01105 - 5.2.5.6	Diâmetro do ponto (d_n), superior ao valor máximo estipulado.	8	3	3	72

Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Processo Atual			N.P.R.
			Gravidade	Ocorrência	Deteção	
6.1 Processo Soldadura de Pontos	Sequência errada na soldadura de pontos.	Peça nok	9	2	5	90
6.2 Processo Soldadura de Pontos	Distância mínima dos pontos de soldadura às extremidades/edge da peça, não conforme.	Peça nok	9	2	5	90
		Ponto fora da peça	7	2	5	70
6.3 Processo Soldadura de Pontos	Localização dos pontos soldados, diferente da localização especificada no desenho técnico.	Peça nok	9	2	5	90
		Redução de funcionalidade dos pontos	9	2	5	90
		Junta com menor resistência	7	2	5	70
6.4 Processo Soldadura de Pontos	Ocorrência de passagem de corrente elétrica, durante a soldadura de pontos.	Peça nok	9	2	5	90
		Ponto de pequeno diâmetro	8	2	5	80
7.1 Ligação por Cola	Não correspondência entre a área teórica de aplicação da cola, com a zona real onde é aplicada.	Peça nok	9	3	2	54
		Desperdício de cola	8	3	2	48
		Falha de funcional da peça	9	3	2	54
7.2 Ligação por Cola	Falta de precisão na quantidade de cola aplicada.	Peça nok	9	7	2	126
		Desperdício de cola	8	7	2	112
		Falha funcional da peça	9	7	2	126
8.1 Planeamento	Dimensão do número de amostras para a realização de testes da qualidade sem fundamento estatístico.	- Amostra não representativa da população	9	10	3	270
9.1 Situação Contratual	Falta de exatidão no contrato fornecedor/cliente,	- Perda de margem comercial com o cliente	8	10	3	240

Processo	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais de Falha	Processo Atual			N.P.R.
			Gravidade	Ocorrência	Deteção	
	sobre quais os testes da qualidade a aplicar.					
9.2 Situação Contratual	Incumprimento do contrato estabelecido fornecedor/cliente relativo aos testes da qualidade a aplicar.	Má avaliação das peças	7	6	5	210
		Perda de cliente	7	3	5	105

Tendo em conta que para cada modo de falha podem existir vários valores de NPR, ou seja, um por cada efeito identificado, considerou-se o valor de NPR mais elevado, por forma a obter-se a tabela de priorização de modos de falha e *gaps*. De salientar que valores mais elevados de gravidade não alteraram a priorização obtida pelo NPR, tendo sido realizada uma análise individual a cada modo de falha para definir a priorização após cálculo e ordenação dos respetivos NPRs.

A tabela 4.20 está organizada do maior valor de NPR, correspondente ao MF (modo de falha) mais prioritário, para o menor valor de NPR, correspondente ao MF menos prioritário.

Tabela 4.20 - Priorização NPR

Ranking	Modos de Falha	NPR
1º	MF 2.1	288
2º	MF 1.3	270
3º	MF 8.1	270
4º	MF 9.1	240
5º	MF 9.2	210
6º	MF 1.2	160
7º	MF 4.2	160

8º	MF 2.2	140
9º	MF 7.2	126
10º	MF 2.3	120
11º	MF 2.4	100
12º	MF 3.2	90
13º	MF 4.1	90
14º	MF 6.1	90
15º	MF 6.2	90
16º	MF 6.3	90
17º	MF 6.4	90
18º	MF 5.3	81
19º	MF 5.4	81
20º	MF 3.3	80
21º	MF 5.1	72
22º	MF 5.5	72
23º	MF 3.1	70
24º	MF 5.2	63
25º	MF 2.5	54
26º	MF 7.1	54
27º	MF 1.1	40
28º	MF 2.6	40

Após a priorização dos modos de falha segundo o número prioritário de risco, traçou-se diagrama de Pareto. Esta análise permite aprofundar e conhecer melhor quais os modos de falha em que se deve atuar.

Segundo Pareto, “80% dos problemas, advêm de 20% das causas” (Tague, 2004), ou seja, esta ferramenta irá permitir avaliar quais são os problemas de maior dimensão, que permitem uma maior melhoria atuando num menor número de causas.

Na tabela 4.21 verificam-se os valores de frequências absolutas e relativas, bem como os seus valores acumulados, que estão na origem dos resultados relativos ao Diagrama de Pareto da figura 4.8

Tabela 4.21 - Tabela de Frequências de Modos de Falhas

Modo de Falha	NPR - Freq. abs.	Freq. abs. acum.	Freq. rel.	Freq. rel. acum.
MF 2.1	288	288	0,09	0,09
MF 1.3	270	558	0,08	0,17
MF 8.1	270	828	0,08	0,25
MF 9.1	240	1068	0,07	0,32
MF 9.2	210	1278	0,06	0,38
MF 1.2	160	1438	0,05	0,43
MF 4.2	160	1598	0,05	0,48

Modo de Falha	NPR - Freq. abs.	Freq. abs. acum.	Freq. rel.	Freq. rel. acum.
MF 2.2	140	1738	0,04	0,52
MF 7.2	126	1864	0,04	0,56
MF 2.3	120	1984	0,04	0,60
MF 2.4	100	2084	0,03	0,63
MF 3.2	90	2174	0,03	0,65
MF 4.1	90	2264	0,03	0,68
MF 6.1	90	2354	0,03	0,71
MF 6.2	90	2444	0,03	0,73
MF 6.3	90	2534	0,03	0,76
MF 6.4	90	2624	0,03	0,79
MF 5.3	81	2705	0,02	0,81
MF 5.4	81	2786	0,02	0,84
MF 3.3	80	2866	0,02	0,86
MF 5.1	72	2938	0,02	0,88
MF 5.5	72	3010	0,02	0,90
MF 3.1	70	3080	0,02	0,92
MF 5.2	63	3143	0,02	0,94
MF 2.5	54	3197	0,02	0,96
MF 7.1	54	3251	0,02	0,98
MF 1.1	40	3291	0,01	0,99
MF 2.6	40	3331	0,01	1,00

No diagrama de Pareto da figura 4.21, verifica-se que nem sempre ocorre a proporção de problemas e causas estipuladas pela Lei de Pareto, contudo, o gráfico permite encontrar a relação mais eficiente em conseguir solucionar maior número de problemas, atuando no menor número de causas possível.

Constata-se que os nove modos de falha mais prioritários, representando cerca de 56% da frequência relativa acumulada do NRP são: MF2.1, MF1.3, MF8.1, MF9.1, MF9.2, MF1.2; MF4.2, MF2.2 e MF 7.2.

O diagrama permite visualizar que aproximadamente 30% dos modos de falha identificados, correspondem a 56% do valor do NPR acumulado, ou seja, representam mais de metade da gravidade, detecção e ocorrência obtidas na análise, sobre a forma do coeficiente NPR.

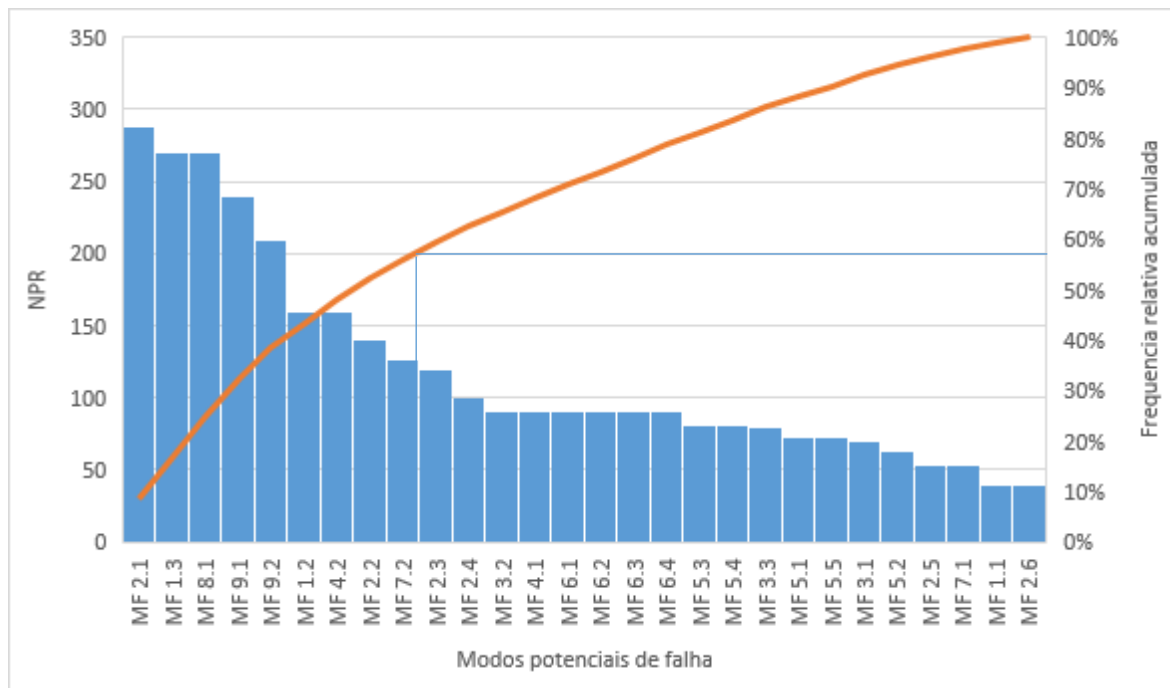


Figura 4.8 - Diagrama de Pareto dos modos de falha identificados

4.2.2 Proposta de Classificação do Risco pelo Teoria de Grey

No seguinte capítulo será feita uma nova classificação de prioridades/risco, através da teoria de *grey*. Este processo irá permitir obter solução diferente que será posteriormente comparada com a obtida pela priorização dos NPR.

A teoria de *grey* permite identificar o grau de relação entre séries de comparação e séries de referência, podendo fazer variar a ponderação das variáveis presentes consoante a importância que se quer atribuir (Chang, 2001).

Considerou-se como valores de referência, $G=1$, $O=1$ e $D=1$, para efeitos de comparação com os valores obtidos em cada modo falha.

Para aplicar a teoria de *grey* ao caso de estudo, foi necessário definir quais as variáveis a aplicar, bem como a sua ponderação. Considerou-se a gravidade e ocorrência como as variáveis de maior importância e como tal, aquelas que deveriam ter maior ponderação:

- Gravidade (G): Coeficiente gravidade (αG) = 0.4
- Ocorrência (O): Coeficiente ocorrência (αO) = 0.4
- Detecção (D): Coeficiente detecção (αD) = 0.2

Sendo o grau de relação de cada modo de falha com a situação ideal dado por:

$$C = \lambda G \cdot \alpha G + \lambda O \cdot \alpha O + \lambda D \cdot \alpha D$$

Sendo λ_i , o coeficiente de relação de cada variável para cada modo de falha. Este valor é obtido pela expressão seguinte:

$$\lambda_i = \frac{\Delta \min + \varepsilon \Delta \max}{\Delta_{i,j} + \varepsilon \Delta \max}$$

O coeficiente de diferenciação, $\varepsilon \in [0,1]$ será definido como 0.5. Os valores de $\Delta \min$ e $\Delta \max$ correspondem respectivamente ao valor mínimo e máximo obtidos pela diferença das variáveis G, O e D com os valores de referência das mesmas variáveis.

Nas tabelas 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 segue-se a resolução da teoria de grey.

Tabela 4.22 - Índices de gravidade, ocorrência e detecção dos modos de falha

Ranking	Modos de Falha	NPR	G	O	D
1º	MF 2.1	288	9	8	4
2º	MF 1.3	270	9	10	3
3º	MF 8.1	270	9	10	3
4º	MF 9.1	240	8	10	3
5º	MF 9.2	210	7	6	5
6º	MF 1.2	160	8	10	2
7º	MF 4.2	160	8	10	2
8º	MF 2.2	140	7	10	2
9º	MF 7.2	126	9	7	2

Matriz de referência:

Esta matriz permite obter o valor ideal de NPR, que corresponde ao seu valor mínimo.

Tabela 4.23 - Matriz ideal, teoria de relação de grey

NPR	G	O	D
1	1	1	1

Após a diferença entre as variáveis das tuas tabelas, obtém-se o valor de $\Delta_{i,j}$ da expressão do coeficiente de relação, ou seja, o delta para cada modo de falha i e cada variável j.

Tabela 4.24 - Matriz $\Delta_{i,j}$

Modos de Falha	G	O	D
MF 2.1	8	7	3
MF 1.3	8	9	2

MF 8.1	8	9	2
MF 9.1	7	9	2
MF 9.2	6	5	4
MF 1.2	7	9	1
MF 4.2	7	9	1
MF 2.2	6	9	1
MF 7.2	8	6	1

Calculando os coeficientes de relação obtém-se:

Tabela 4.25 - Matriz de coeficiente de relação

Modos de Falha	G	O	D
MF 2.1	0,36	0,39	0,60
MF 1.3	0,36	0,33	0,69
MF 8.1	0,36	0,33	0,69
MF 9.1	0,39	0,33	0,69
MF 9.2	0,43	0,47	0,53
MF 1.2	0,39	0,33	0,82
MF 4.2	0,39	0,33	0,82
MF 2.2	0,43	0,33	0,82
MF 7.2	0,36	0,43	0,82

Por último, calculando o grau de relação de cada modo de falha e tendo em conta que quanto menor o valor do grau de relação menor é a relação existente com os valores de referência obtém-se a seguinte ordenação:

Tabela 4.26 - Comparação entre priorização NPR e teoria de relação de grey

Ranking	Modos de Falha Ordenados	NPR	Nova Priorização dos Modos de Falha	Gau de Relação
1º	MF 2.1	288	MF 1.3	0,416
2º	MF 1.3	270	MF 8.1	0,416
3º	MF 8.1	270	MF 2.1	0,421
4º	MF 9.1	240	MF 9.1	0,428
5º	MF 9.2	210	MF 1.2	0,453
6º	MF 1.2	160	MF 4.2	0,453
7º	MF 4.2	160	MF 9.2	0,467
8º	MF 2.2	140	MF 2.2	0,468
9º	MF 7.2	126	MF 7.2	0,479

Podemos verificar que ocorrem algumas alterações na nova priorização dos modos de falha, nomeadamente nos três mais prioritários, onde o MF 2.1 que era anteriormente o modo falha mais prioritário, passa a ser o terceiro, ficando como modo de falha mais prioritário o MF

1.3 – teste destrutivo mal definido, podendo aprovar uma soldadura de protuberâncias não conforme, em igualdade com o MF 8.1. Esta alteração deveu-se à maior ponderação dada às variáveis de gravidade e ocorrência em detrimento da variável de detecção.

4.3 Planos de Ação

Após a priorização dos modos de falha foram desenvolvidos os respectivos planos de ação que têm por objetivo limitar e eliminar as principais falhas e *gaps* identificados.

Tabela 4.27 - Planos de ação

Processo	Modo de Falha Potencial	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha	NPR	C	Ações Recomendadas
Metalografia 2.1	Marcação incorreta do diâmetro e penetração do <i>nugget</i> . ("dn" e "p")	- Falta de Formação - Imprecisão do Operador	288	0,421	- Avaliação das capacidades de precisão do operador para a tarefa a desempenhar. -Formar colaboradores sobre os requisitos das normas Vw em vigor e sempre que ocorram atualizações das mesmas. -Revisão dos relatórios efetuados
Tear down 1.3	No processo de <i>Tear down</i> , o valor de referência para o diâmetro das protuberâncias, está mal definido (ex: 7N0.809.851)	Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de informação; - Falta de revisão ao processo	270	0,416	- Revisão do processo dos valores atuais de diâmetros em protuberâncias. - Formar colaboradores sobre os requisitos das normas Vw em vigor e sempre que ocorram atualizações das mesmas.

Processo	Modo de Falha Potencial	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha	NPR	C	Ações Recomendadas
Planeamento 8.1	Dimensão do número de amostras estipuladas para a realização de testes da qualidade (destrutivos e não destrutivos) sem fundamento estatístico.	- Falta de formação - Inércia / resistência à mudança.	270	0,416	- Desenvolver novo plano de controlo de qualidade. - Consultar empresa externa especializada para desenvolvimento de novo planeamento. - Fornecer formação necessária para um bom desenvolvimento de um plano.
Situação Contratual 9.1	Falta de exatidão no contrato fornecedor/cliente, sobre quais os testes da qualidade a aplicar.	- Falta de experiência e/ou falta de capacidade negocial - Falta de sinergia entre os diferentes departamentos da empresa	240	0,428	- Aplicar a filosofia <i>lessons learned</i> para o novo projeto. - Desenvolver revisão dos contratos atualmente em vigor.
Situação Contratual 9.2	Incumprimento do contrato estabelecido fornecedor/cliente relativo aos testes da qualidade a aplicar.	Desconhecimento dos parâmetros estipulados no contrato	210	0,539	- Aplicar filosofia <i>lessons learned</i> . - Notificar e renegociar com o cliente, sempre que ocorra uma oportunidade ou necessidade de desenvolver uma alteração no processo previamente estipulado.
Tear down 1.2	No processo de <i>Tear down</i> , não é avaliada a soldadura das protuberâncias de <i>Studs</i> . (ex: 1KD.801.775.D)	Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.	160	0,467	- Uma vez realizado um ensaio destrutivo, deve-se retirar toda a informação relativa à conformidade do produto. - Revisão do processo e dos testes da qualidade a aplicar.

Processo	Modo de Falha Potencial	Causas Potenciais / Mecanismo(s) de Falha	NPR	C	Ações Recomendadas
Torque 4.2	Teste de Torque aplicado às porcas soldadas com valor inferior ao mínimo necessário	Desconhecimento do conteúdo norma Vw; - Falta de Formação; - Inércia / resistência à mudança.	160	0,453	- Revisão do processo dos valores atuais de torque aplicados. - Formar colaboradores sobre os requisitos das normas Vw em vigor e sempre que ocorram atualizações das mesmas. - Desenvolvimento em <i>excel</i> , de tabela que calcule os valores de torque em função da espessura.
Metalografia 2.2	Especificações das soldaduras por protuberâncias, não são avaliadas no processo de metalografia	- Falta de revisão do processo - Inércia / resistência à mudança.	140	0,453	- Aquisição do material necessário para desenvolvimento de estudo metalográfico às protuberâncias de <i>studs</i> .
Cola 7.2	Falta de precisão na quantidade de cola aplicada	- Erro do operador	126	0,468	- Corrigir/melhorar processo do operador. - Aplicar <i>poka-yoke</i> ao processo do operador. - Automatizar estação de aplicação de cola.

Na tabela 4.27 verifica-se um elevado número de modos de falhas ou *gaps*, que podem ser solucionados ou melhorados com o procedimento de investir nos colaboradores, sendo que este processo abrange 44% dos modos de falha ou *gaps*. Também o processo de revisão dos processos, abrange um número significativo de modos de falhas, correspondendo a 33%. Apesar do custo que teria de ser despendido neste tipo de soluções, a longo prazo, teriam um elevado retorno na melhoria ou eliminação dos modos de falha ou *gaps* identificados.

A elaboração da análise de *gaps* na empresa Schnellecke, permitiu identificar *gaps* e modos falhas que consequentemente geravam ineficiência e aumento de custos prejudicando a produtividade e competitividade da empresa.

A identificação dos modos de falha e *gaps* permitem à empresa criar soluções, ou pelo menos, reforçar o controlo sobre os aspetos a melhorar.

O desenvolvimento de uma análise de *gaps*, implica um elevado rigor e atenção a todos os detalhes do dia-a-dia. A maior dificuldade presente nesta abordagem, são as mudanças de variável que ocorrem ao longo do tempo. Numa produção com pontos de soldadura manuais, a probabilidade de erro humano torna-se mais elevada, consequentemente existe uma maior variabilidade da qualidade dos processos, não existindo dois pontos de soldadura iguais. Por outro lado, também as regras de conformidade mudam ao longo do tempo. As normas Volkswagen estão em constante atualização na plataforma criada para o efeito. Este fator leva num caso extremo, a que uma peça produzida que aguarde expedição, deixe de estar em conformidade de um dia para outro devido à atualização de uma norma Vw.

Por norma a aplicação da ferramenta *FMEA*, atribui à variável Gravidade índice nove, sempre que as normas não estejam a ser cumpridas. No estudo elaborado, esta situação não seria apropriada, uma vez que a larga maioria dos modos de falhas identificados tiveram como base as normas Vw e caso esta regra fosse aplicada seria difícil hierarquizar os diferentes modos de falha e *gaps*. Contudo, é preciso ter em conta a necessidade de atuar sobre todos os modos de falha, sendo a priorização uma forma de decidir a ordem de atuação e não os modos de falha em que se irá atuar.

As duas metodologias abordadas, por forma a priorizar os *gaps* e modos de falhas, geram hierarquias diferentes. Uma das razões para este acontecimento, deve-se ao facto de o cálculo do número de risco prioritário atribuir ponderações equitativas às variáveis de gravidade, ocorrência e deteção. O mesmo não acontece quando se aplica a metodologia de *grey*, que para além de possuir um algoritmo diferente, permite atribuir ponderações diferentes às variáveis utilizadas. Não existe uma resposta linear para definir qual a melhor forma de priorizar um risco. Numa perspetiva mais generalista é possível complementar as duas análises. Ambos os estudos desenvolvidos reforçam a ideia de que os modos de falha mais críticos e urgentes de atuação serão o MF 1.3, MF 2.1 e MF 8.1. Conclui-se assim, que mesmo não atribuindo uma ponderação equitativa no cálculo do NPR, estipulando uma maior importância aos parâmetros de gravidade e ocorrência, obteve-se como modos de falha mais prioritários o MF 1.3, MF 2.1 e MF 8.1.

Após o *brainstorming* entre a equipa envolvida neste projeto, identificaram-se causas comuns aos três modos falhas, tais como, falta de formação ou ausência de supervisão. É possível afirmar que a causa base transversal à larga maioria dos modos de falha e *gaps* é o baixo nível de formação e atualização dos processos em prática.

Os modos de falha 1.3 e 2.1 devem-se ao desconhecimento do valor real de referência dos diâmetros *dw* e *dn* nos processos de *tear down* e metalografia respetivamente. Este tipo de modos de falha pode ser evitado através de uma atualização periódica dos colaboradores do conteúdo das normas. A falta de adaptação ao conteúdo normativo pode implicar perda de competitividade e custos diretos através de produção não conforme. O modo de falha 8.1 refere-se a uma situação diferente, apesar de possuir uma causa base idêntica. Nesta situação o modo de falha deve-se ao facto de o processo de planeamento de testes da qualidade não estar fundamentado num suporte estatístico. Os testes destrutivos são realizados em função dos

recursos humanos e tempo disponíveis, eventualmente o histórico de uma peça que tenha apresentado problemas poderá influenciar o plano anual. De uma forma geral, quantos mais recursos existirem, maior será o número de peças destruídas. Esta situação gera prejuízo à empresa por dois motivos: por um lado a amostra não representativa pode ser demasiado baixo, desconhecendo-se o verdadeiro nível de conformidade, o que pode gerar uma elevada produção não conforme, por outro lado, porque a amostra pode ser excessivamente alta, gerando custos dispensáveis, associados a peças destruídas que não acrescem de forma significativa o nível de confiança do estudo relativo à conformidade das peças.

As abordagens relativas a processos e produtos que possam pôr em risco a integridade física de colaboradores ou consumidores deve ser tratada com sensibilidade. Apesar de alguns dos *gaps* ou modos de falha visarem a eficiência e consequente competitividade da empresa, outros modos de falha visam a produtividade não conforme de peças de carroçaria automóvel. O caso de estudo aborda peças críticas existindo elevada responsabilidade do departamento de qualidade da empresa em não colocar a integridade física de nenhum consumidor em risco. Por este motivo, todos os modos de falha que gerem peças não conformes foram avaliados com a nota de gravidade nove.

Capítulo 5 – Conclusões e Sugestões

5.1 Conclusões

O desenvolvimento de uma análise de *gaps* permite identificar e avaliar algumas soluções para os modos de falhas existentes referentes a processos e à produção. Contudo, é preciso ter em consideração as limitações presentes nas ferramentas da qualidade aplicadas ao longo do projeto, tais como, a subjetividade inerente ao FMEA na avaliação qualitativa referente às variáveis gravidade, ocorrência e detecção, e a possível existência de várias falhas em simultâneo, podendo prejudicar a avaliação do sistema.

Com este estudo é possível compreender a capacidade de melhorias e correções que uma análise de *gaps* pode gerar. Este método aplicado de forma periódica pode permitir à empresa conseguir reajustar-se às necessidades atuais.

A análise de *gaps* desenvolvida permitiu atingir os objetivos propostos. Foram identificados os parâmetros de referência presentes nas normas Vw, sendo que, alguns destes parâmetros eram desconhecidos ou estavam desatualizados. Realizou-se uma avaliação aos processos produtivos da empresa, identificando os modos de falhas e *gaps*. Após uma avaliação dos mesmos, identificou-se causas potenciais, efeitos e realizou-se uma priorização, atingiu-se também, o objetivo de elaboração de planos de ação, que permitem uma melhoria dos processos produtivos, sendo este o objetivo primário da análise de *gaps* desenvolvida.

Atualmente não é suficiente formar um colaborador para desempenhar uma determinada atividade apenas no início da sua função. A formação e revisão dos processos devem ser feitas de forma contínua, mantendo os procedimentos atualizados e conformes.

A análise realizada, permitiu solucionar os modos de falha identificados, o que permitirá à empresa atingir um nível de competitividade ainda mais elevado e uma produção mais eficiente.

Os objetivos foram atingidos graças ao trabalho de equipa dos colaboradores, que demonstrou ser o ativo mais importante da empresa, disponibilizando-se para fornecer formação e participar de forma dinâmica no desenvolvimento da análise de *gaps*.

Citando Alvim Toffler sobre a terceira vaga industrial que vivemos: *“Os analfabetos do próximo século não são aqueles que não sabem ler ou escrever, mas aqueles que se recusam a aprender, desaprender e reaprender”*.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, seria interessante realizar uma análise de gaps que para além de focar a perspetiva da qualidade dos produtos e eficiência dos processos, tivesse em conta o estudo do trabalho do operador.

Apesar de uma produção aparentar eficiência por cumprir os requisitos de qualidade exigidos, existe espaço a melhorias ao nível da ergonomia das estações de trabalho. São vários os fatores que podem gerar custos a uma produção, tais como erro humano, acidentes ocupacionais, absentismo, baixa produtividade por *distress* ou desmotivação.

Este estudo permitiria conhecer melhor os processos implementados do ponto de vista da capacidade do operador em executá-los, em vez de avaliar os processos exclusivamente do ponto de vista da qualidade do produto final obtido. A abordagem não procuraria encontrar modos de falhas e gaps presentes no dia-a-dia da produção, mas sim, focar na prevenção das situações extraordinárias que possuam índices de gravidade elevados.

O estudo teria como objetivo conseguir minimizar o erro humano, bem como todos os aspetos que possam influenciar o stress ou a motivação do operador. Estes fatores estão diretamente associados ao rendimento do operador e à capacidade em manter os padrões de segurança ocupacional e industrial.

Bibliografia

- Chang, C. L., Liu, P. H., e Wei. (2001). *Failure mode and effects analysis using grey theory. Integrated Manufacturing Systems. Journal of Manufacturing Technology Management*, 12: 211-216.
- Denise, L. e McGuire, M. (2007). *The Executive guide to understanding and implementing the Baldrige Criteria*. ASQ Quality Management Division and Economics of Quality Book Series.
- Fonseca, D. e Miyake, A. (2006). Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade. Acedido em 02 de Fevereiro de 2016, em: http://www.fc.up.pt/pessoas/ptsantos/Normas_referencias_bibliograficas.pdf
- Foster, S. (2001). *Managing Quality*. 1ª Edição. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River
- Geum, Y.Cho & Y. Park. (2011). *A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. Mathematical and Computer Modelling*, 54: 3126-3142.
- Guimarães, J.C.F., Severo, E.A., Pereira, A.A., Dorion E. e Olea, P. (2013). *Process Innovation and Continuous Improvement in a Plastics Industry*. Sistemas & Gestão. 2013, 8: 33-43.
- Kececioglu, D. (1991). *Reliability engeneering handbook*. 2ª Edição. Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- Lepmets, M., McBride, M., e Ras, E.T. (2012). *Goal Alignment in Process Improvement. The Journal of Systems and Software*, 85: 1440-1452.
- Levin, Jack. (1987). *Estatística Aplicada a Ciências Humanas*. 2ª Edição. Harbra. São Paulo.
- Liu, H. C., Liu, L. e Liu, N. (2013). *Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. Expert Systems with Applications*, 40: 828-838
- Omdahl, Tracy P. (1988). *Reliability, availability and maintainability dictionary*. 1ª Edição. ASQ Quality Press. Milwaukee.
- Parasuraman, A., Zeithaml A.e Berry, L.(1988). *Servqual: A multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality. Journal of retailing*, 64:12.
- Pereira, Zulema Lopes e Requeijo, José Gomes. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico do Processos*. 2ª Edição. FFCT. Caparica.
- PV 2049. 2011. *Adhesive Bonds in Car Body Manufacture*. s.l. : Volkswagen, 2011.
- PV 6702. 2010. *Juntas Soldadas por Pontos em Materiais de Aço*. s.l. : Volkswagen, 2010.
- PV 6727. 2009. *Projection-Welded Joints Between Thin Sheet Steel. Testing of Body Assemblies*. s.l. : Volkswagen, 2009.
- Rose, Kenneth H. (2005). *Project Quality Management: Why, What and How*. 1ª Edição. J. Ross Pub. Boca Raton, Fla.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis*. 2ª Edição. ASQ Quality Press. Wisconsin, Milwaukee.
- Tague, Nancy R. (2004). *The Quality Toolbox*. 2ª Edição. ASQ Quality Press. Wisconsin, Milwaukee
- Vw 01103. 2016. *Resistance Projection Welding*. s.l. : Volkswagen, 2016.

Vw 01105-1. 2014. *Resistance Spot Welding. Uncoated and Coated Steel Sheets*. s.l. : 2014, 2014.

Vw 01105-4. 2011. *Resistance Spot Welding. Three-Sheet Joints*. s.l. : Volkswagen, 2011.

Vw 60560. 2015. *Welded Joints with Weld Elements Made of Steel. Strenght Test and Evaluation for Resistance Projection and Arc Welded Joints with Bolts, Studs and Nuts*. s.l. : Volkswagen, 2015.

Anexos

AI. Diagrama em Árvore

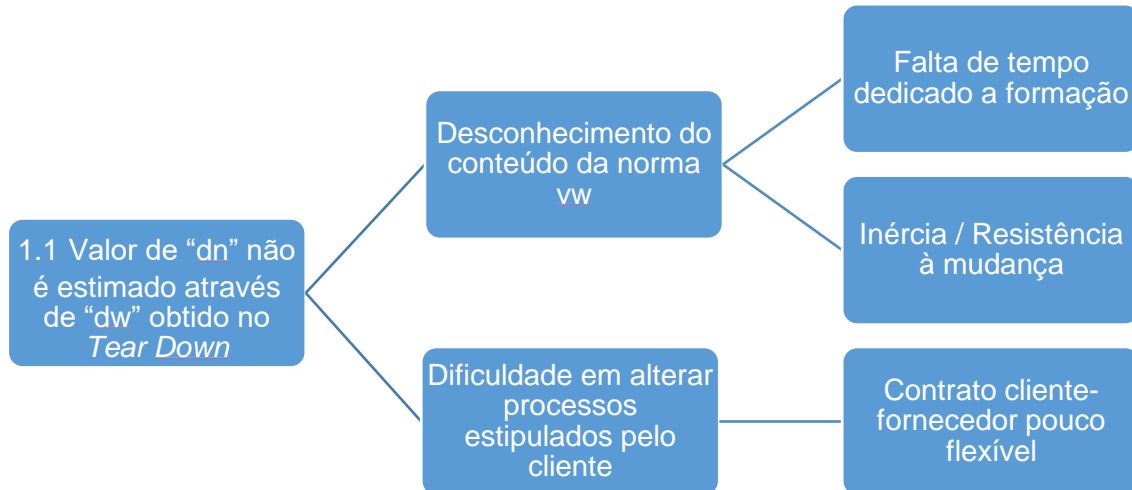


Figura AI. Diagrama em Árvore 1 – Valor de "dn" não é estimado através de "dw" obtido em Tear Down

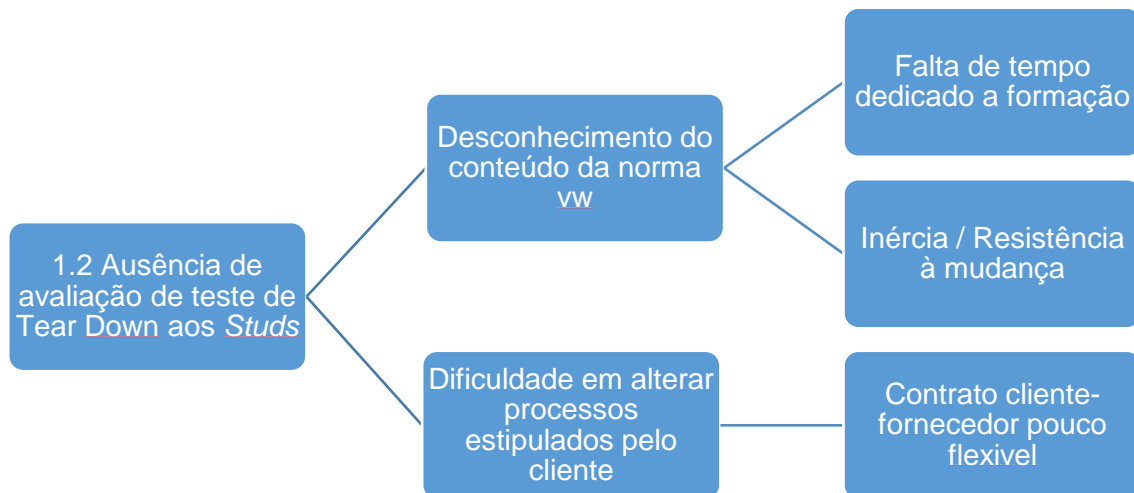


Figura AI. Diagrama em Árvore 2 - Ausência de avaliação de teste de Tear Down aos Studs

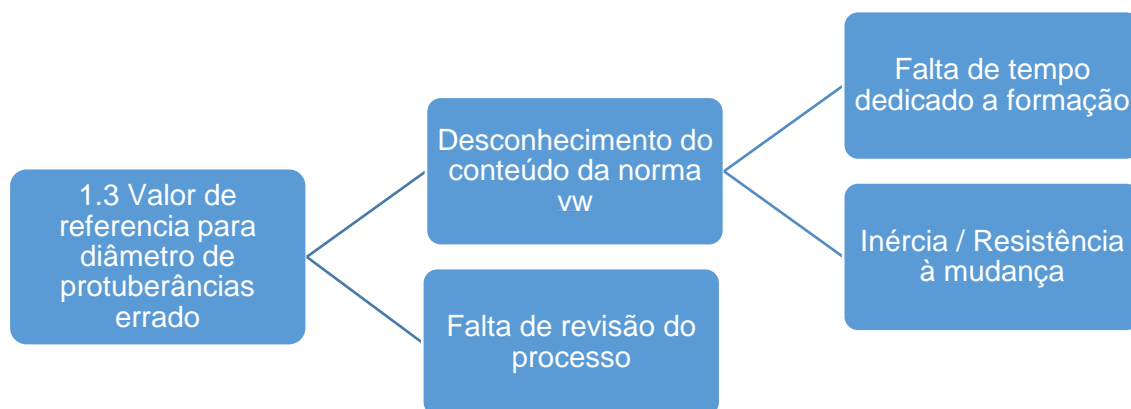


Figura AI. Diagrama em Árvore 3 - Valor de referencia para diâmetro de protuberâncias errado

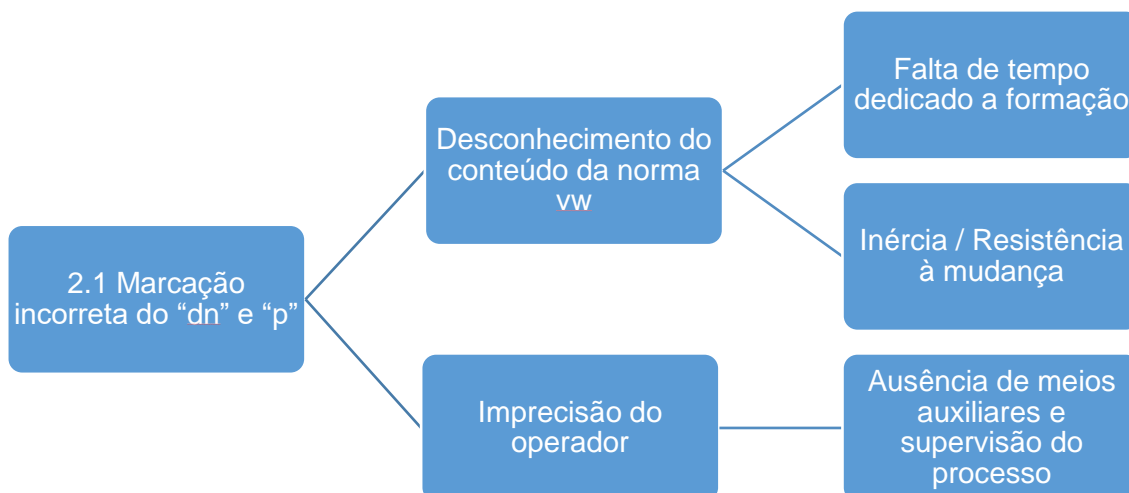


Figura AI. Diagrama em Árvore 4 - Marcação incorreta do "dn" e "p"

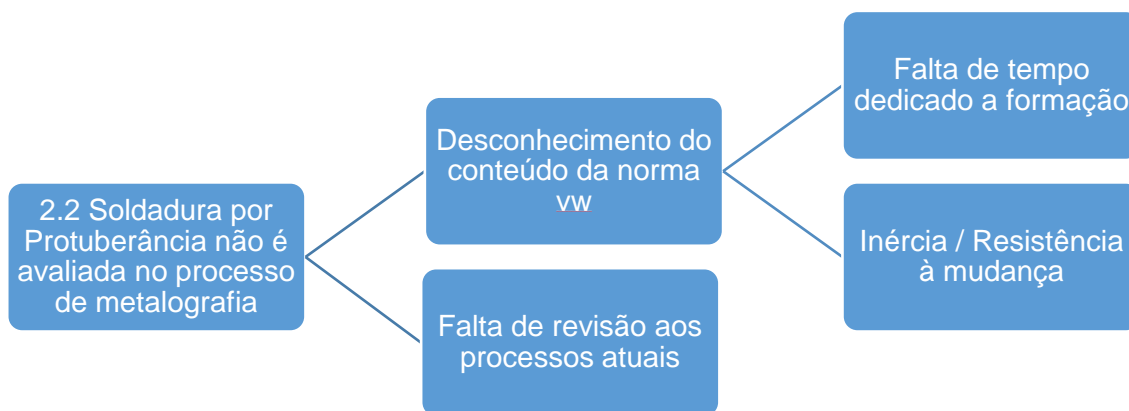


Figura A1. Diagrama em Árvore 5 - Soldadura por Protuberância não é avaliada no processo de metalografia

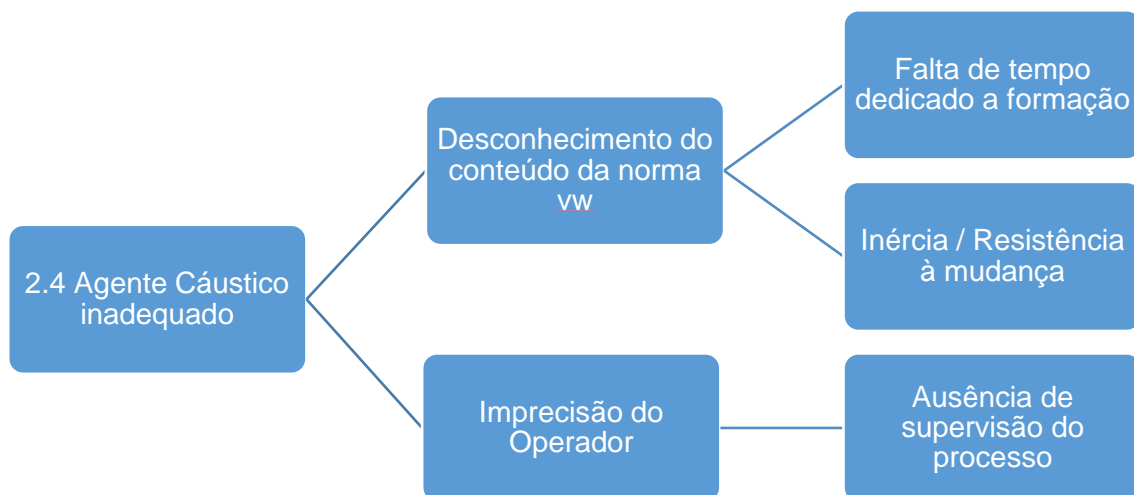


Figura A1. Diagrama em Árvore 6 - Agente Cáustico inadequado

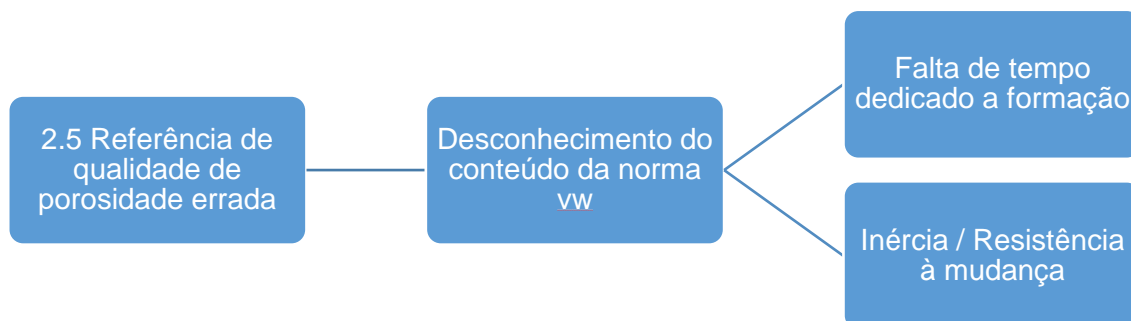


Figura A1. Diagrama em Árvore 7 - Referência de qualidade de porosidade errada

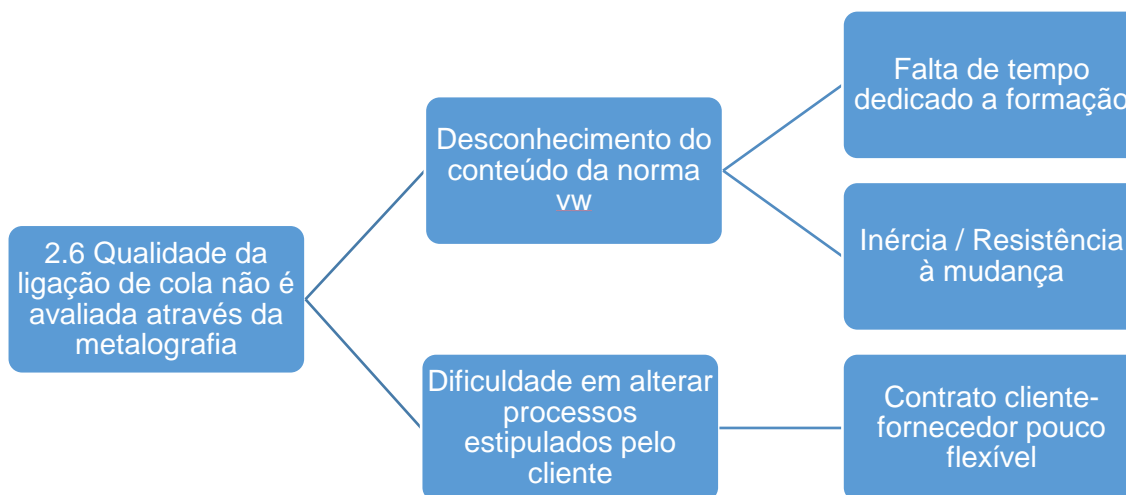


Figura A1. Diagrama em Árvore 8 - Qualidade da ligação de cola não é avaliada através da metalografia

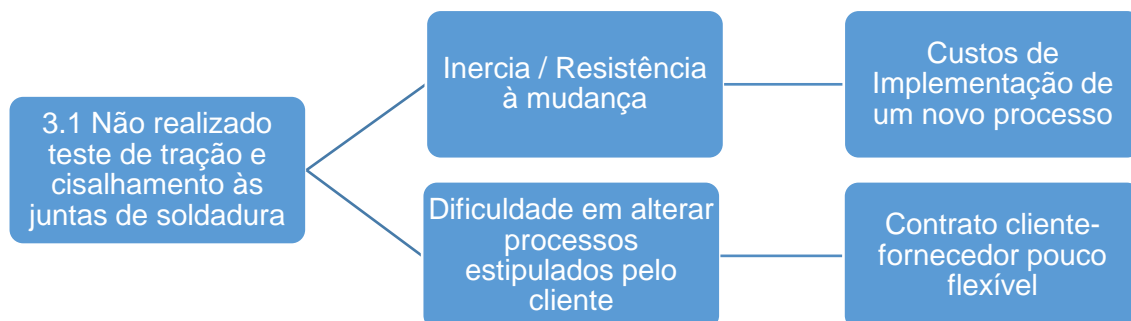


Figura A1. Diagrama em Árvore 9 - Não realizado teste de tração e cisalhamento às juntas de soldadura

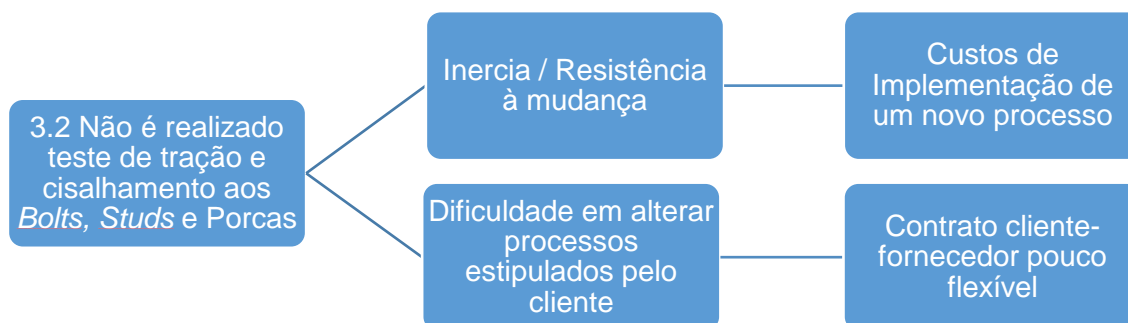


Figura A1. Diagrama em Árvore 10 - Não é realizado teste de tração e cisalhamento aos Bolts, Studs e Porcas

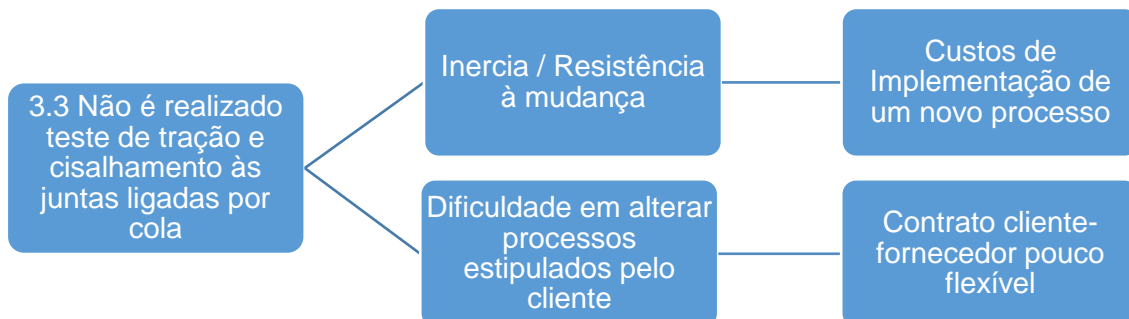


Figura AI. Diagrama em Árvore 11 - Não é realizado teste de tração e cisalhamento às juntas ligadas por cola

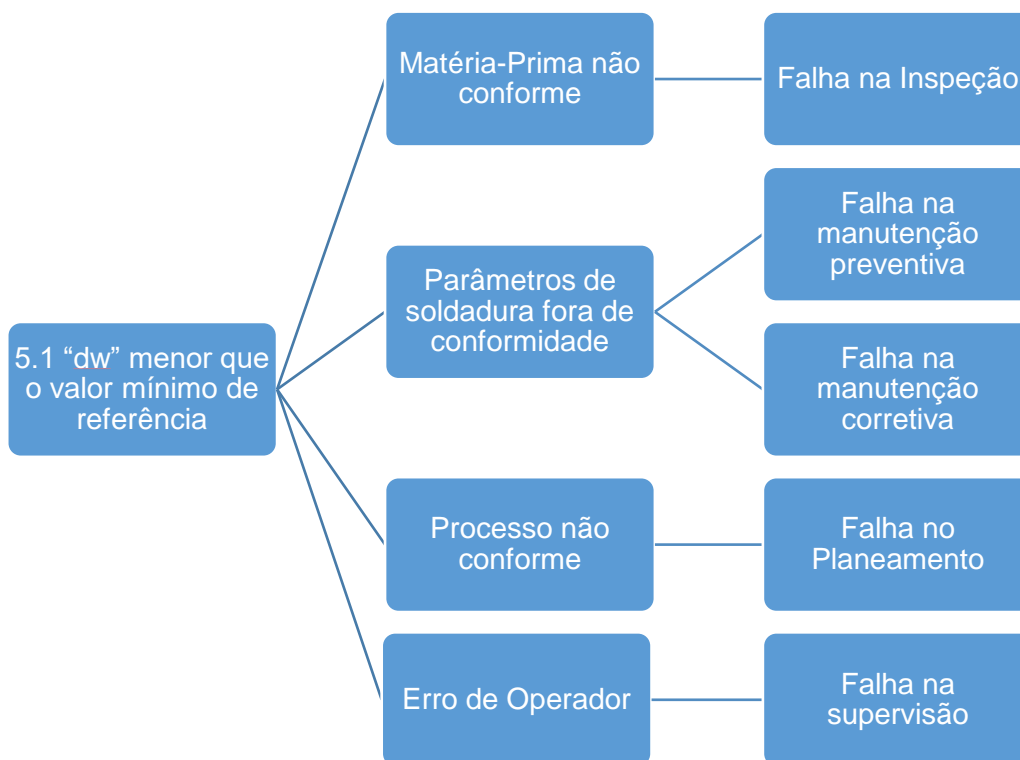


Figura AI. Diagrama em Árvore 12 - "dw" menor que o valor mínimo de referência

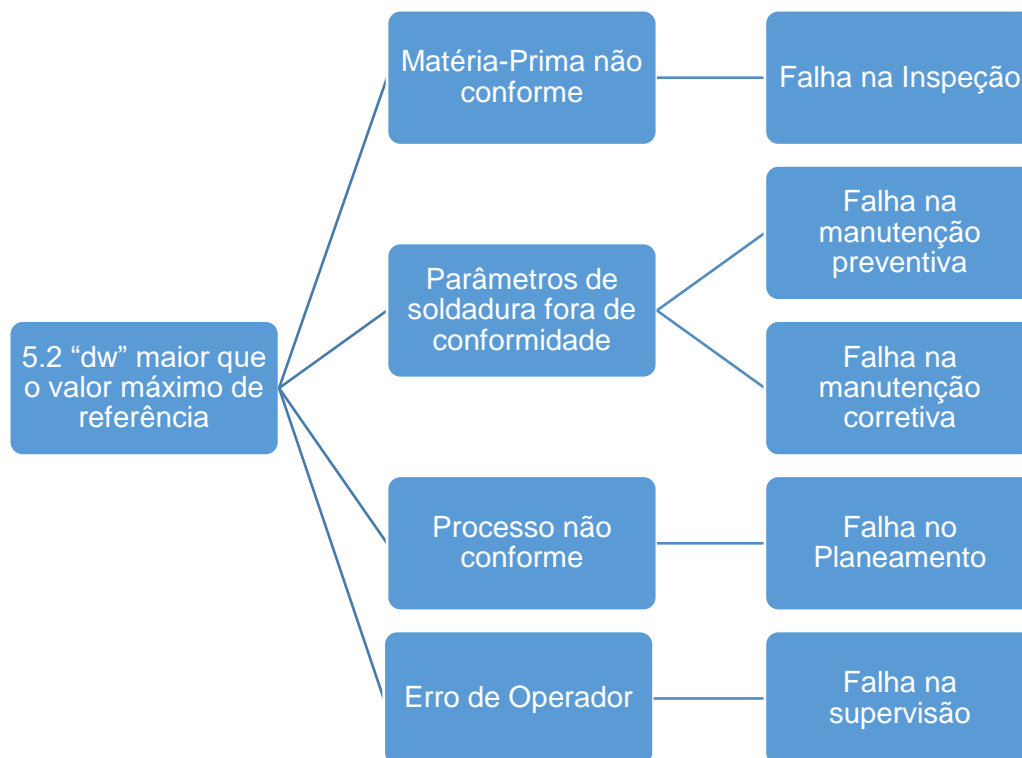


Figura A1. Diagrama em Árvore 13 - "dw" maior que o valor máximo de referência

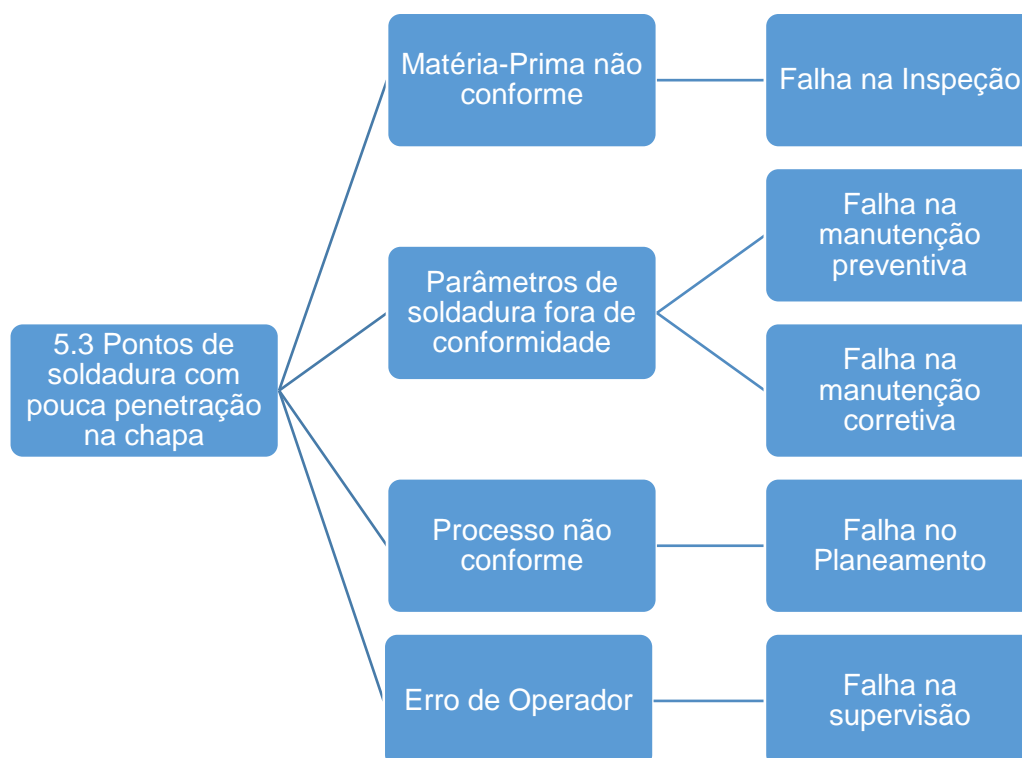


Figura A1. Diagrama em Árvore 14 - Pontos de soldadura com pouca penetração na chapa

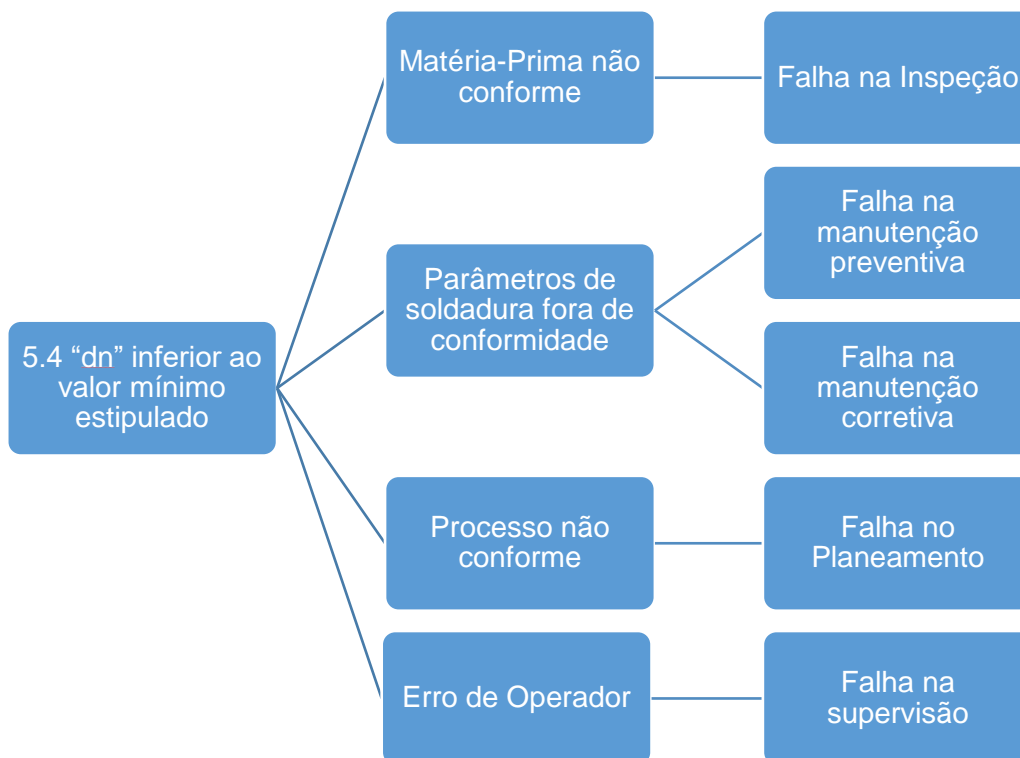


Figura A1. Diagrama em Árvore 15 - "dn" inferior ao valor mínimo estipulado

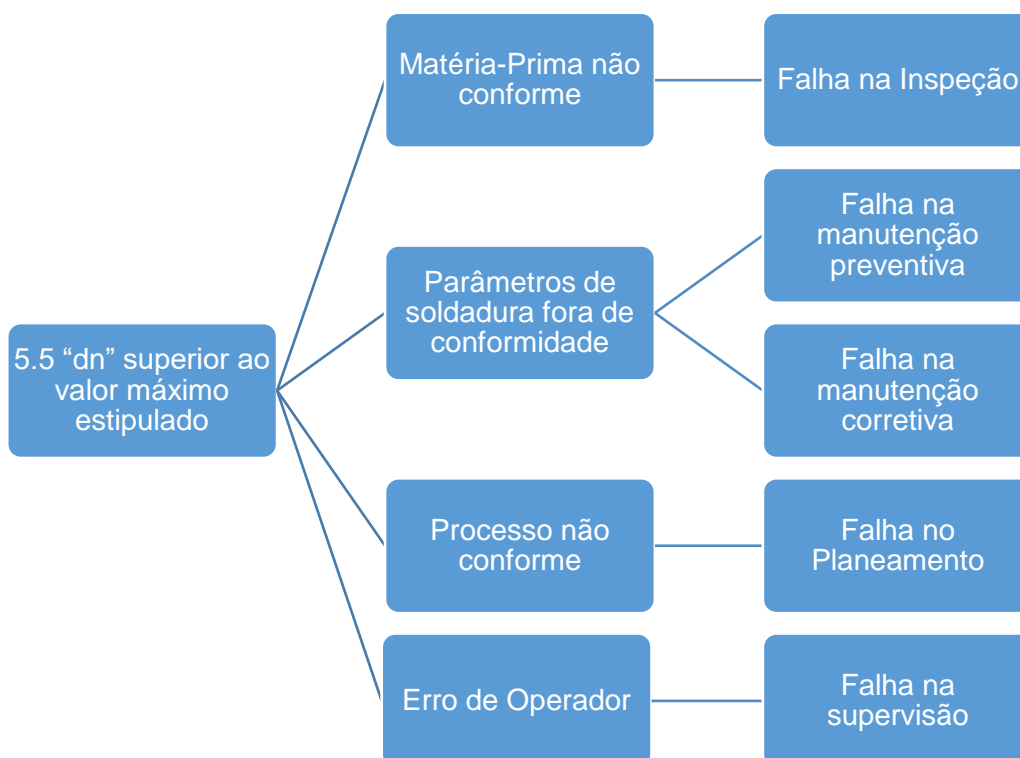


Figura A1. Diagrama em Árvore 16 - "dn" superior ao valor máximo estipulado

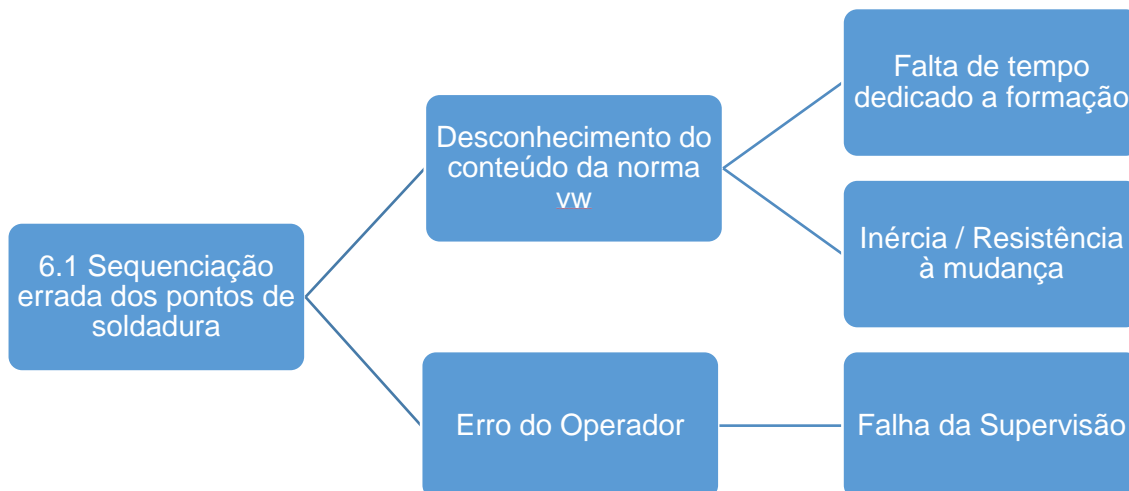


Figura AI. Diagrama em Árvore 17 - Sequenciação errada dos pontos de soldadura

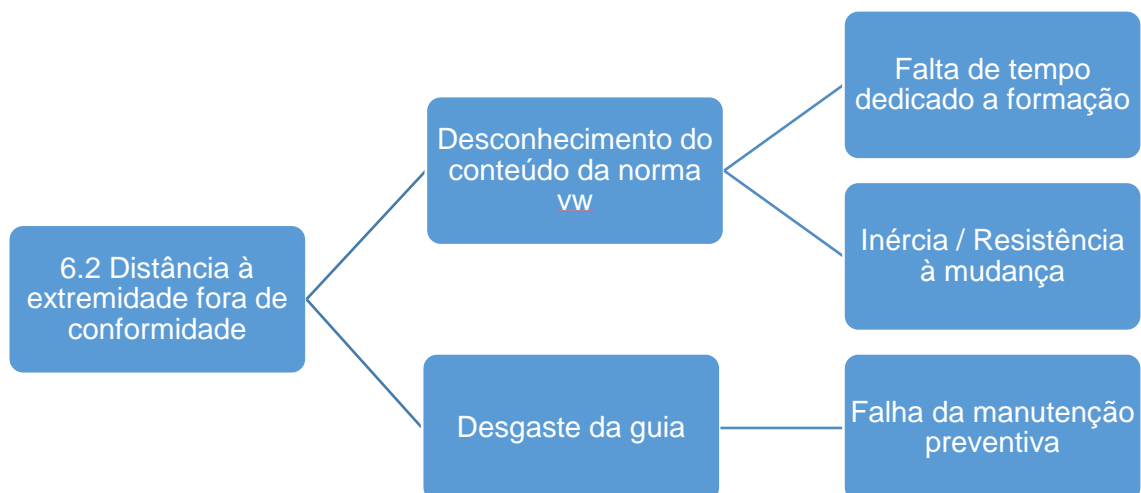


Figura AI. Diagrama em Árvore 18 - Distância à extremidade fora de conformidade

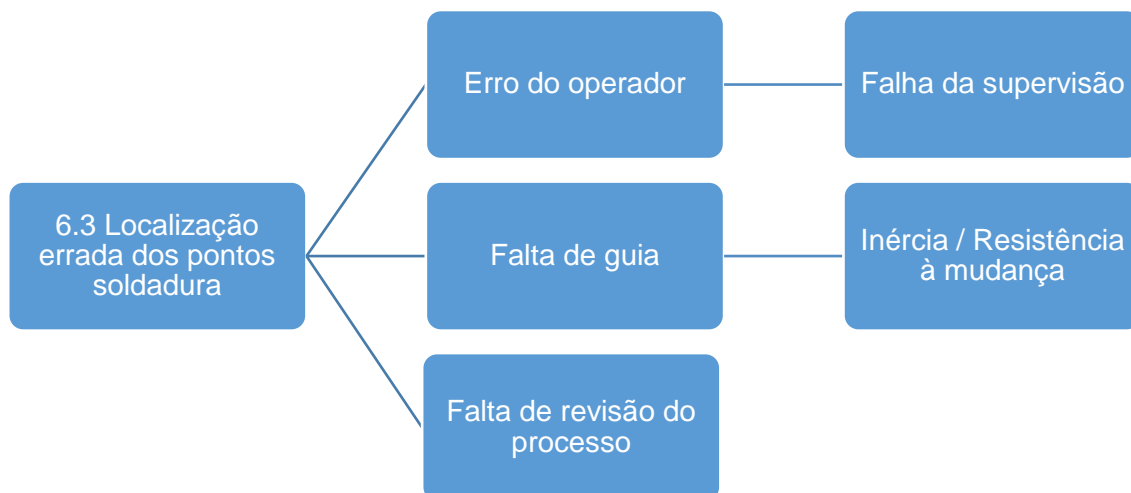


Figura A1. Diagrama em Árvore 19 - Localização errada dos pontos soldadura

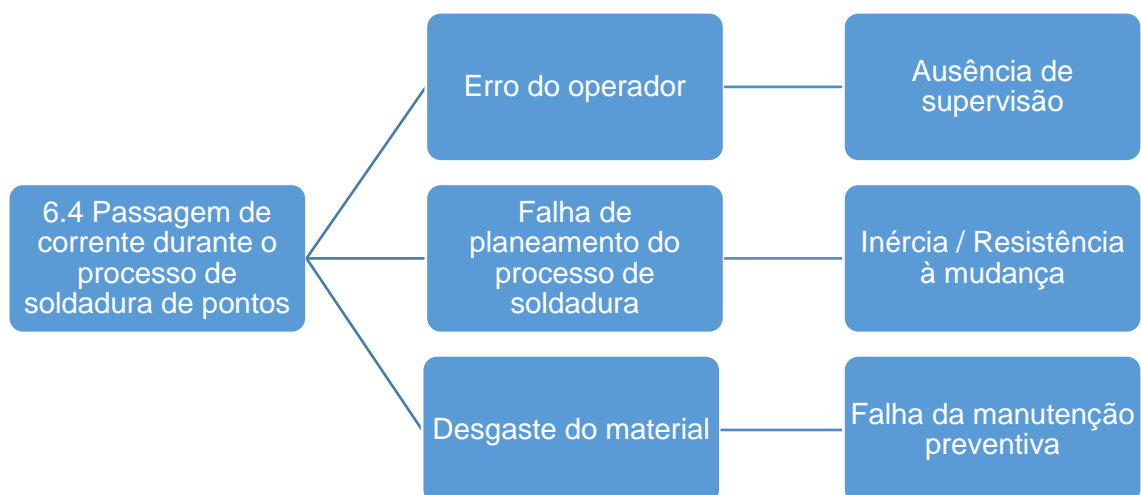


Figura A1. Diagrama em Árvore 20 - Passagem de corrente durante o processo de soldadura de pontos

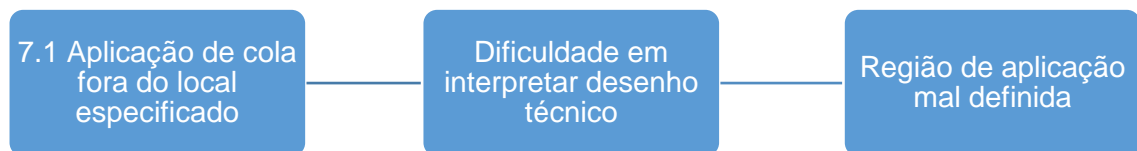


Figura A1. Diagrama em Árvore 21 - Aplicação de cola fora do local especificado

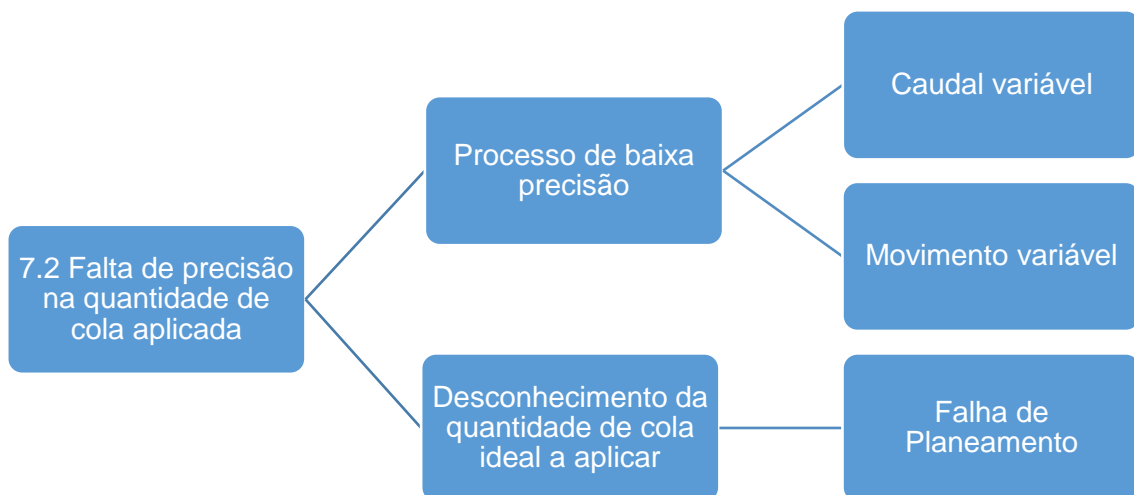


Figura A1. Diagrama em Árvore 22 - Falta de precisão na quantidade de cola aplicada

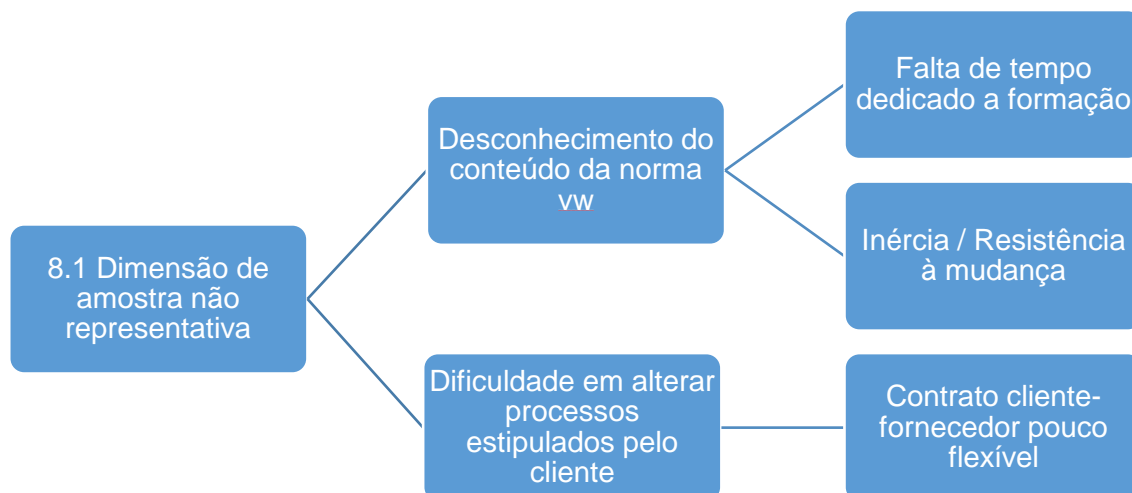


Figura A1. Diagrama em Árvore 23 - Dimensão de amostra não representativa

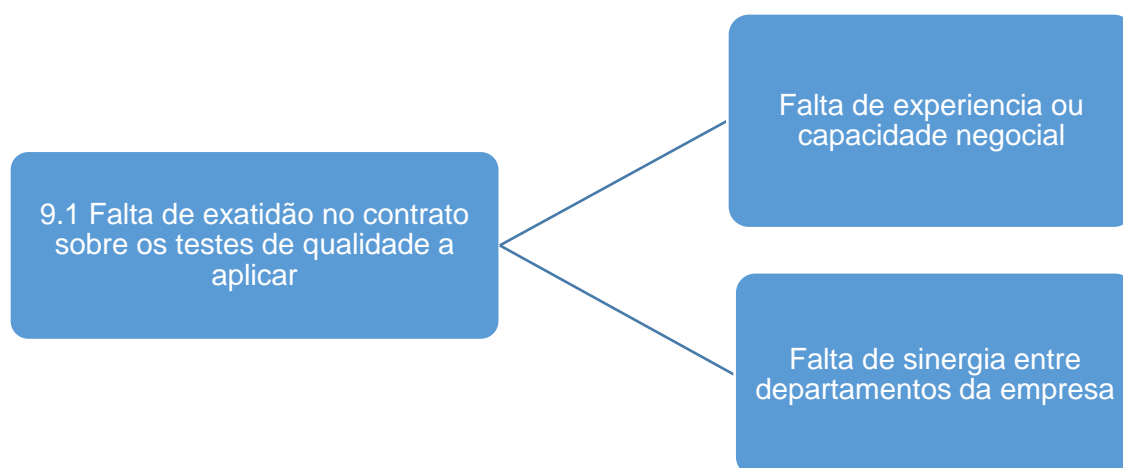


Figura A1. Diagrama em Árvore 24 - Falta de exatidão no contrato sobre os testes de qualidade a aplicar

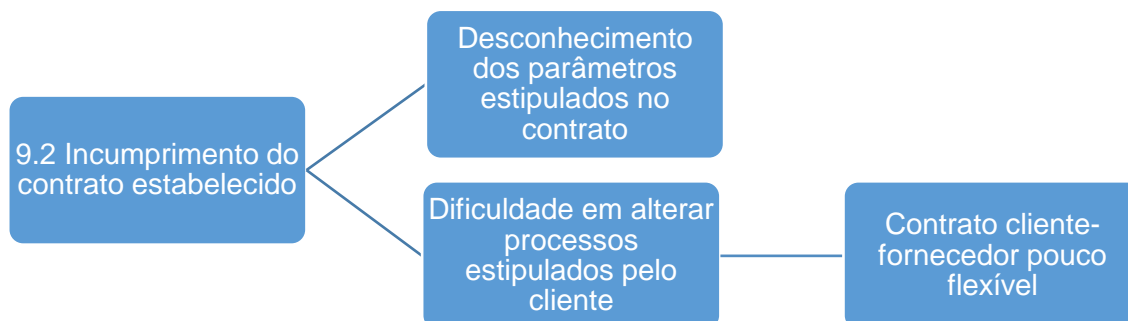


Figura A1. Diagrama em Árvore 25 - Incumprimento do contrato estabelecido

All. Desenhos Técnicos

Tunnel

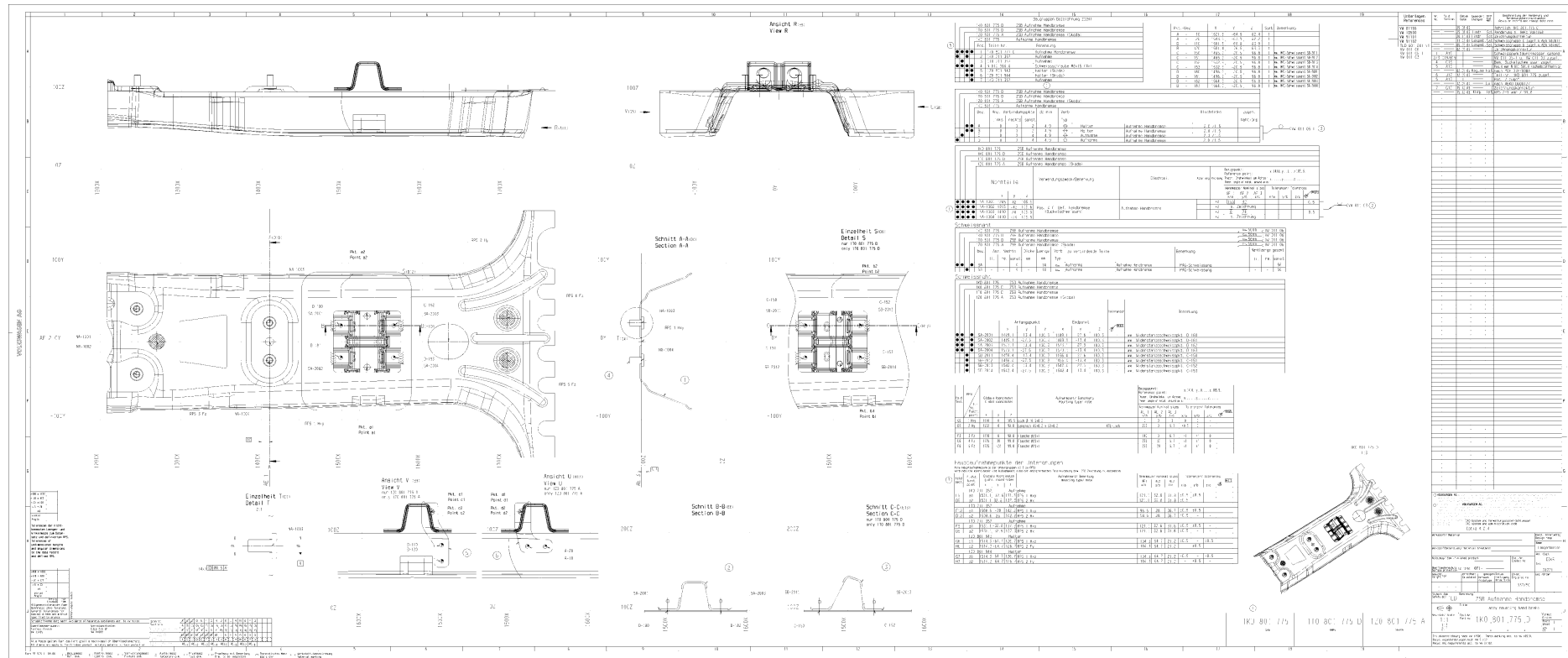


Figura All. 1 – Desenho Técnico Tunnel

Dichtkanal

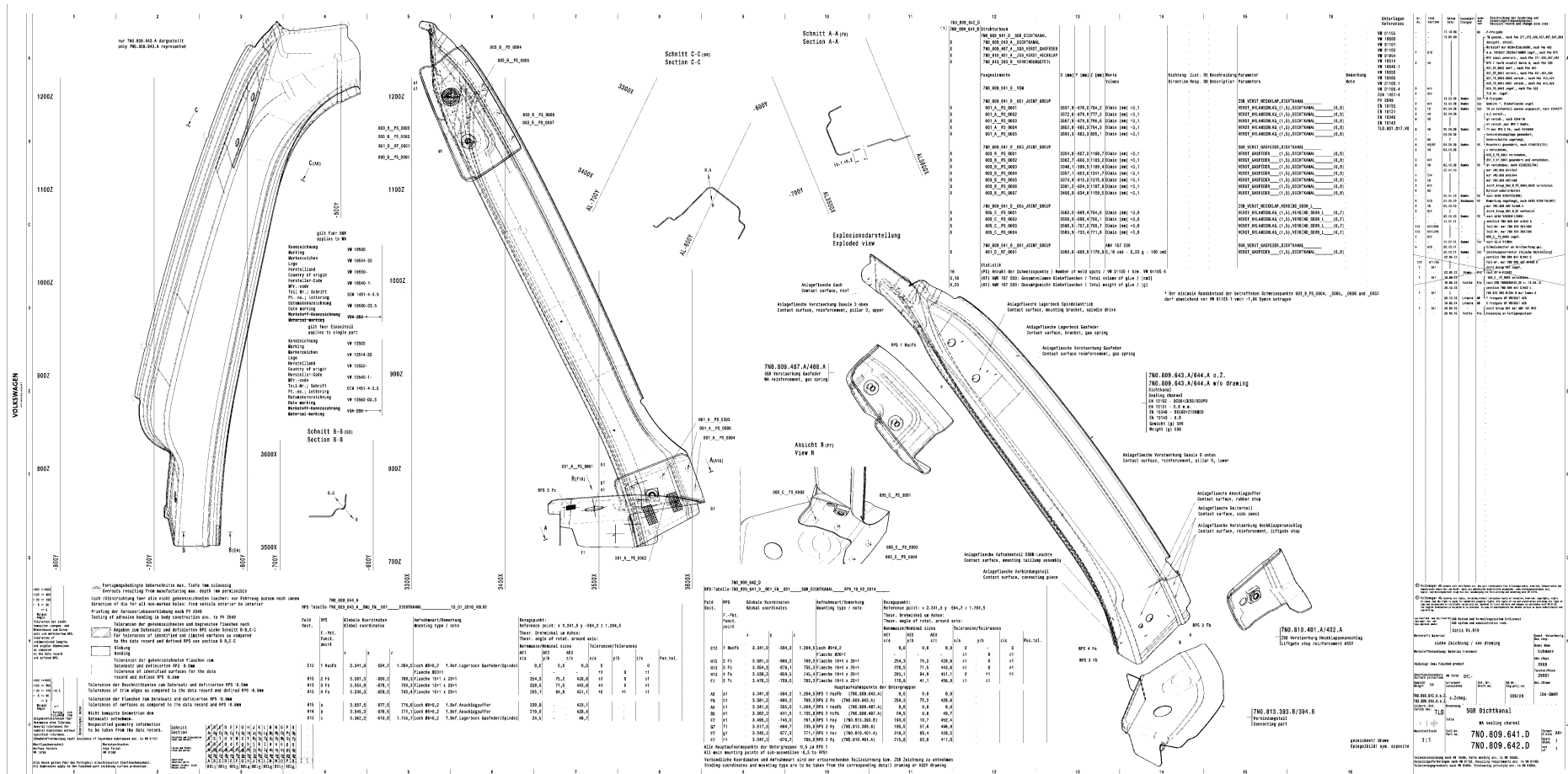


Figura All. 2 - Desenho Técnico Dichtkanal

Radhause

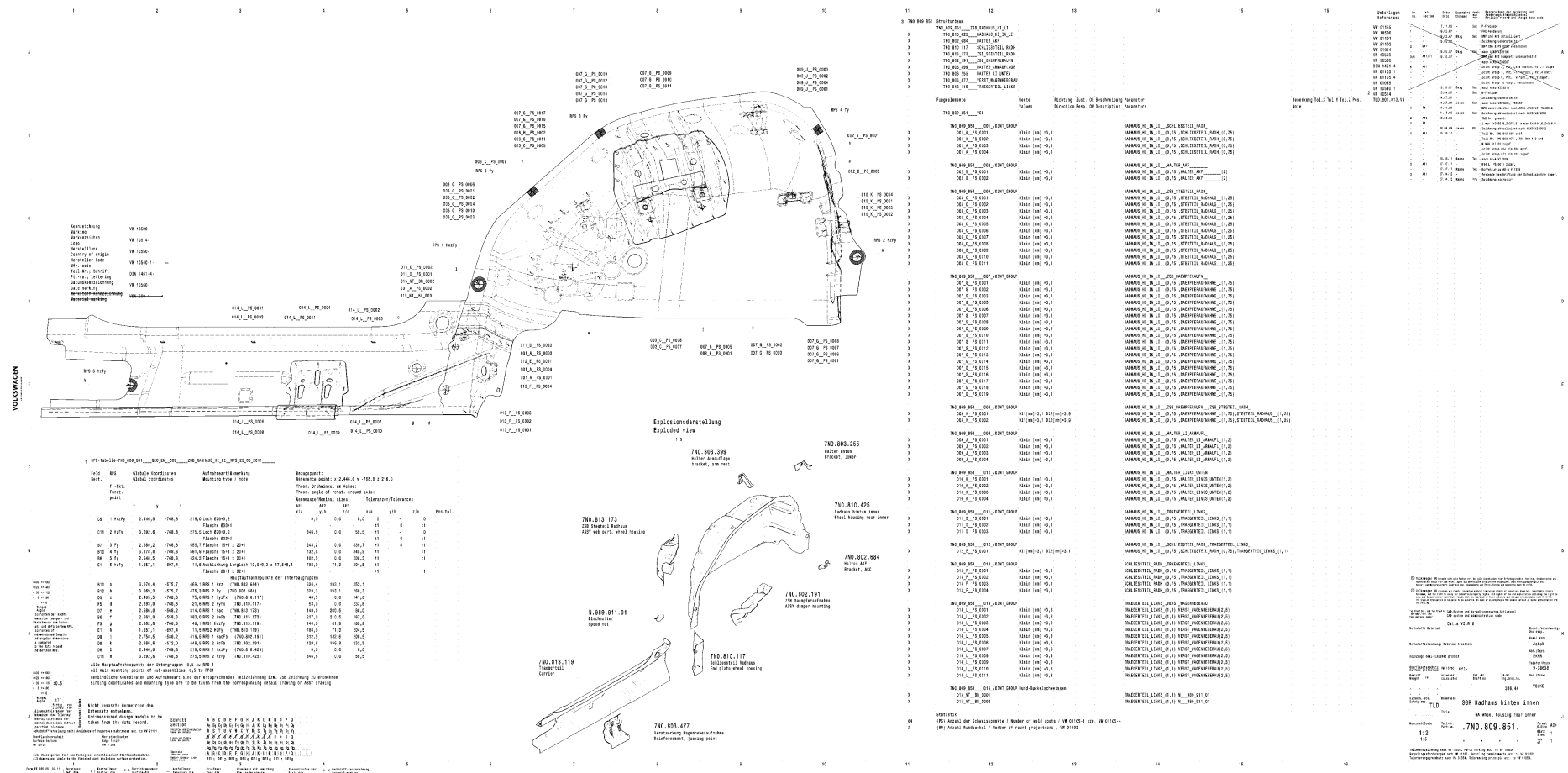


Figura All. 3 - Desenho Técnico Radhause